

(52) CPC특허분류

C10K 3/04 (2013.01)
H01M 8/04097 (2013.01)
H01M 8/04761 (2013.01)
H01M 8/04805 (2013.01)
H01M 8/0618 (2013.01)
H01M 8/0631 (2013.01)
H01M 8/14 (2013.01)
Y02E 60/526 (2013.01)
Y02E 60/566 (2013.01)

(30) 우선권주장

61/787,697	2013년03월15일	미국(US)
61/787,587	2013년03월15일	미국(US)
61/787,879	2013년03월15일	미국(US)
61/884,545	2013년09월30일	미국(US)
61/884,565	2013년09월30일	미국(US)
61/884,605	2013년09월30일	미국(US)
61/884,376	2013년09월30일	미국(US)
61/884,586	2013년09월30일	미국(US)
61/884,635	2013년09월30일	미국(US)
61/889,757	2013년10월11일	미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

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

CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고;

약 65% 이하(예를 들어, 약 60% 이하, 약 55% 이하, 약 50% 이하, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)의 연료 이용률에서, 또한 전지 작동 전압 대 전지 최대 전압의 비가 약 0.65 이하(예컨대, 약 0.64 이하, 약 0.63 이하, 약 0.62 이하, 또는 약 0.61 이하)이도록 하는 전지 작동 전압에서, 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고;

용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고;

애노드 배기 가스로부터 H₂-함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함

을 포함하는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 상기 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이, 산화되어 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 75% 이상(예를 들어, 약 100% 이상) 더 많은, 방법.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 캐소드의 CO₂ 이용률이 약 50% 이상(예컨대, 약 60% 이상)인, 방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO₂, 또는 이들의 조합을 포함하는, 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 애노드 배기 가스가 약 1.5:1 내지 약 10.0:1(예를 들어, 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H₂ : CO의 몰비를 갖도록 H₂와 CO를 포함하는, 방법.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 H₂-함유 스트림이 약 90% 이상의 H₂(예를 들어, 약 95부피%의 H₂, 또는 약 98부피%의 H₂)를 함유하는, 방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 캐소드 입구 스트림이 약 20부피% 이하의 CO₂(예를 들어, 약 15부피% 이하의 CO₂, 또는 약 12부피% 이하의 CO₂)를 포함하는, 방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항중 어느 한 항에 있어서,

H₂-함유 스트림중 적어도 일부를 연소 터빈으로 재순환시킴을 추가로 포함하는 방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 방법.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.25, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.9, 또는 약 0.25 내지 약 0.85)의 열 비로 작동시키는, 방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 11 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순(net) 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 몰수의 비가 적어도 약 2.0:1(예를 들어, 적어도 약 2.5:1 또는 적어도 약 3:1)인, 방법.

청구항 13

제 1 항 내지 제 12 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예를 들어, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 또는 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO₂ 이용률이 약 60% 이상(예컨대, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 방법.

청구항 14

제 1 항 내지 제 13 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 150mA/cm² 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 40mW/cm² 이상(예를 들어, 약 50mW/cm² 이상, 약 60mW/cm² 이상, 약 80mW/cm² 이상, 또는 약 100mW/cm² 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고,

상기 방법이, 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 100℃ 이하(예컨대, 약 80℃ 이하, 또는 약 60℃ 이하)로 유지하기에 효과적인 양의 흡열 반응을 수행함을 추가로 포함하며, 이 때 임의적으로는 흡열 반응을 수행하는 것이 폐열의 약 40% 이상(예컨대, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 70% 이상)을 소비하는, 방법.

청구항 15

제 1 항 내지 제 14 항중 어느 한 항에 있어서,

상기 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%이고, 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상인, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 다양한 양태에서, 본 발명은 용융 카보네이트 연료 전지를 사용한 통합된 화합물 생성 및/또는 발전 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 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 승온 및/또는 승압에서 수증기 및/또는 산소와 반응하여 수소를 포함하는 기체 생성물을 생성시킬 수 있는 탄화수소계 물질을 포괄할 수 있다. 특히, 개질가능한 연료는 알칸, 알켄, 알콜, 방향족 화합물 및/또는 개질되어 H_2 와 탄소 산화물(CO 또는 CO_2)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.

[0003] 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.

[0004] 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_2 농도가 높은 연료를 제공한다. 산화 반응에 사용되지 않은 H_2 는 다음 통과시 사용하기 위하여 애노드로 재순환된다. 1회 통과 기준으로, H_2 이용률은 10% 내지 30%일 수 있다. '315 호 참조문헌은 애노드 내에서의 상당한 개질을 기재하지 않고, 대신 주로 외부 개질에 의존한다.

[0005] 미국 특허 공보 제 2005/0123810 호는 수소와 전기 에너지를 동시에 생성하는 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.

[0006] 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.

[0007] 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.

[0008] 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 산출

물(output)은 부분적으로 연료 전지의 캐소드로의 투입물(input)로서 사용된다. 만줄리니 논문에서의 시뮬레이션의 한 가지 목적은 MCFC를 사용하여 제너레이터의 배기 가스로부터 CO₂를 분리하는 것이다. 만줄리니 논문에서 기재된 시뮬레이션은 660℃의 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. CO₂ 격리에 최적화된 시험 모델의 경우의 전기 효율도 또한 50%이다.

[0009] 데시데리(Desideri) 등의 논문[*Intl. J. of Hydrogen Energy*, Vol. 37, 2012]은 CO₂를 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 CO₂ 이용률 증가는 CO₂ 분리를 개선하는데 바람직한 것으로 보인다. 모델 매개변수는 50.3%의 MCFC 전기 효율을 기재한다.

[0010] 미국 특허 제 5,169,717 호는 암모니아 생산 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하는 방법을 기재한다. 통합된 시스템은 용융 카보네이트 연료 전지와는 상이한 전처리(front end)를 이용하여 암모니아를 생성시키기 위한 투입 수소 및 질소 스트림을 가공한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0011] 용융 카보네이트 연료 전지의 작동은 에너지 생산, 수소, 합성 가스 또는 다른 연료의 생산, 및/또는 상업적으로 유용한 화합물의 생산과 통합될 수 있다.

[0012] 본원은 본원과 동일자로 출원되고 하기 참조 번호 및 발명의 명칭에 의해 확인되는 21개의 다른 동시 계류중인 PCT 출원과 관련되어 있다: "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM104-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM107-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM108-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 탄소 포획"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM109-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM272-WO; "감소된 전기 효율로 연료 전지를 사용하는 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM273-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM274-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM277-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM278-WO; "연료 전지를 사용한 통합된 발전 및 화합물 생산"이라는 발명의 명칭을 갖는 2013EM279-WO; "통합형 발전에서 NO_x의 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; "메탄올 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 2014EM057-WO. 이들 동시 계류중인 PCT 특허원은 각각 본원에 참고로 인용된다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 용융 카보네이트 연료 전지 및 그에 수반되는 개질 및 분리 스테이지의 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 2는 용융 카보네이트 연료 전지 및 그에 수반되는 개질 및 분리 스테이지의 구성의 다른 예를 개략적으로 도

시한다.

도 3은 용융 카보네이트 연료 전지의 작동의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 4는 탄소계 연료의 연소에 기초하여 전기를 발생시키기 위한 복합 사이클 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 5는 탄소계 연료의 연소에 기초하여 전기를 발생시키기 위한 복합 사이클 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 6 내지 도 8은 탄소질 화합물의 생성 공정과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하기 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 9 및 도 10은 통합된 MCFC 및 피셔-트롭쉬 시스템의 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다.

도 11 및 도 12는 메탄올 합성 공정과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하기 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 13은 통합된 MCFC 및 메탄올 합성 공정에 있어서의 계산으로부터의 공정 흐름 값을 보여준다.

도 14 및 도 15는 발효 공정과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하기 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 16은 질소-함유 화합물의 합성 공정과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하기 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 17은 시멘트 생성 공정과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하기 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 18은 시멘트 생성 공정과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합의 일례에 있어서의 공정 흐름을 도시한다.

도 19는 제철 또는 제강 공정과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 20은 제철 또는 제강 공정과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합의 일례에 있어서의 공정 흐름을 도시한다.

도 21은 정유 설비에서 수소 발생 및 발전 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 22는 정유 설비에서 수소 발생 및 발전 시스템에 있어서의 공정 흐름의 일례를 도시한다.

도 23은 정유 설비에서 수소 발생 및 발전 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 24는 정유 설비에서 수소 발생 및 발전 시스템에 있어서의 공정 흐름의 일례를 도시한다.

도 25는 발전을 위한 구성의 일례를 개략적으로 도시한다.

도 26은 발전 시스템의 시뮬레이션의 결과를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

개요

다양한 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지의 작동을 다양한 화합물 및/또는 물질 생산 공정과 통합할 수 있다. 생산 공정은 용융 카보네이트 연료 전지로부터의 산출물의 생산에 상응할 수 있거나, 또는 생산 공정은 하나 이상의 연료 전지 스트림을 소비하거나 제공할 수 있다.

피셔-트롭쉬 합성과의 통합

다양한 양태에서는, MCFC 시스템으로부터 생성된 합성 가스의 반응에 기초한 피셔-트롭쉬 합성으로부터 고품질 생성물을 생성시키기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 이 시스템 및 방법은 임의적으로는, 그러나 때때로는 바람직하게는 코발트계 촉매 같은 비-전환(non-shifting) 피셔-트롭쉬 촉매를 사용하여, 높은 평균 분자량의 거의 포화된 파라핀을 생성시킬 수 있다. 이는 때때로 "저온" 피셔-트롭쉬 합성으로 일컬어질 수 있다. 다르게는, 이 시스템 및 방법은 임의적으로는, 그러나 때때로 바람직하게는 철계 촉매 같은 전환(shifting) 피셔-트롭쉬 촉매를 사용할 수 있다. 이는 때때로 "고온" 피셔-트롭쉬 합성으로 칭해질 수 있다. 다른 촉매 시스템 및 방법을 이용할 수 있으나, 전형적인 상업적인 작동은 코발트 또는 철을 기제로 하는 촉매를 이용할 수 있다. 몇몇 바람직한 양태에서는, 피셔-트롭쉬 생성물 스트림에서 전형적으로 생성되는 거의 포화된 파라핀을 디젤 연

료, 제트 연료 및 윤활유 같은 고가 생성물로 가공할 수 있고/있거나 이들 생성물용 블렌딩 원료로서 사용할 수 있다. 일부 양태에서, 이들 시스템 및 방법은 피셔-트롭쉬 방법 및/또는 반응을 위해 상당량의 전력을 또한 생성시키면서, 또한 전체 공정으로의 탄소 투입물을 효율적으로 사용하면서, 이들 생성물을 더욱 효율적으로 생성시킬 수 있다. 이 시스템은 투입물에 대한 전기 및 화합물 산출량의 합 면에서 높은 총 효율을 제공할 수 있다. 또한 또는 다르게는, 이 시스템은 탄소 포획/격리에 적합한 CO₂ 스트림(또는 하나 이상의 CO₂ 스트림)을 생성시킬 수 있다.

[0018]

합성 가스를 사용하여, 연료, 윤활유, 화합물 및/또는 특산물을 생성하는데 유용한 다양한 생성물 및 성분을 제조할 수 있다. 합성 가스를 이들 생성물로 전환시키는 한 방법은 피셔-트롭쉬 방법을 포함하며, 여기에서는 합성 가스를 승온 및 승압에서 촉매 상에서 반응시켜 장쇄 탄화수소(또는 탄화수소계 화합물) 및 산소화물을 생성시킬 수 있다. 이용되는 가장 통상적인 촉매는 전형적으로 철계 촉매(소위 고온 피셔-트롭쉬 합성용) 및 코발트계 촉매(소위 저온 피셔-트롭쉬 합성용)를 포함할 수 있다. 다른 관련 촉매와 함께 철계 촉매는 또한 전화 촉매로도 일컬어질 수 있는데, 왜냐하면 이들 촉매 상에서 수성 가스 전화 반응이 용이하게 평형화되는 경향이 있을 수 있기 때문이다. 코발트-함유 촉매 및 다른 관련 촉매는 비-전화 촉매로 일컬어질 수 있는데, 왜냐하면 이들은 표준 작동 조건에서 수성 가스 전화 평형화 반응을 실질적으로 수행하고/하거나 촉진시키는 것으로 보이지 않기 때문이다.

[0019]

적합한 피셔-트롭쉬 촉매의 예는 통상 촉진제, 예를 들어 루테튬, 레늄 및/또는 지르코늄과 함께 또는 이들 없이 지지되거나 지지되지 않은 VIII족 비-귀금속, 예를 들어 Fe, Ni, Ru 및/또는 Co를 포함할 수 있다. 이들 피셔-트롭쉬 공정은 전형적으로 고정상, 유동상 및/또는 슬러리 탄화수소 합성을 포함할 수 있다. 몇몇 양태에서, 바람직한 피셔-트롭쉬 공정은 코발트 및/또는 루테튬을 기제로 하는, 바람직하게는 적어도 코발트, 바람직하게는 지르코늄 및/또는 레늄(바람직하게는 레늄임, 다른 촉진제 금속도 사용할 수 있음)을 포함하는 촉진제를 갖는 촉진되는 코발트를 포함하는 비-전화 촉매를 이용하는 것일 수 있다. 구리, 세륨, 레늄, 망간, 백금, 이리듐, 로듐, 몰리브덴, 텅스텐, 루테튬 또는 지르코늄을 비롯한 다양한 금속을 임의적으로는 촉매 지지체의 일부로서 첨가함으로써 이들 촉매의 활성을 향상시킬 수 있다. 이러한 촉매는 널리 공지되어 있고, 바람직한 촉매는 미국 특허 제 4,568,663 호 및 유럽 특허 제 0 266 898 호에 기재되어 있다. 전형적인 피셔-트롭쉬 공정에 사용되는 합성 가스 공급물은 H₂:CO가 약 1.7 이상, 바람직하게는 약 1.75 이상, 더욱 바람직하게는 1.75 내지 2.5, 예를 들어 약 2.1 이상 및/또는 약 2.1 이하의 비로 존재하는 H₂와 CO의 혼합물을 포함할 수 있다.

[0020]

고정상, 슬러리상 및 다중 채널 디자인 같은 다양한 시스템에서 피셔-트롭쉬 공정을 실행할 수 있다. 다양한 양태에서, 소형 반응기(예컨대, 1+배럴/일) 또는 초대형 반응기(예를 들어, 10,000 내지 50,000배럴/일 이상) 같은 매우 다양한 반응기에서 피셔-트롭쉬 공정을 이용할 수 있다. 생성물, 전형적으로는 탄화수소 왁스를 그 자체로 사용할 수 있고/있거나 널리 공지되어 있는 다양한 화학적 공정에 의해 다른(예컨대, 액체) 성분으로 전환할 수 있다.

[0021]

일반적으로는, 약 150℃ 내지 약 320℃(302°F 내지 626°F)의 온도 및 약 100kPaa 내지 약 10MPaa의 압력에서 피셔-트롭쉬 공정을 작동시킬 수 있다. 피셔-트롭쉬 공정 내에서 반응 조건을 변화시키면, 반응 생성물의쇄 길이의 적어도 일부의 제어를 비롯하여 반응 생성물의 수율 및/또는 조성을 제어할 수 있다. 전형적인 반응 생성물은 알칸(주요 반응 생성물), 및 산소화물, 올레핀, 탄화수소와 유사하지만 탄소 및 수소와는 상이한 하나 이상의 헤테로원자를 함유할 수 있는 다른 탄화수소계 화합물, 및 다양한 추가적인 반응 부산물 및/또는 미반응 공급물 성분을 포함할 수 있다. 이들 추가적인 반응 생성물 및 공급물 성분은 특히 H₂O, 미반응 합성 가스(CO 및/또는 H₂) 및 CO₂를 포함할 수 있다. 이들 추가적인 반응 생성물 및 미반응 공급물 성분은, 공정에 의해 발생되는 더욱 전형적인(목적하는) 액체 및/또는 탄화수소계 화합물 같은 비-기체 성분과는 대조적으로, 기체 형태의 피셔-트롭쉬 공정의 주요 반응 생성물로부터 분리될 수 있는 테일 가스(tail gas)를 형성할 수 있다. 피셔-트롭쉬 공정의 목적이 나프타 공급물, 디젤 공급물 또는 다른 증류물 비등 범위의 분자로서 사용하기 적합한 화합물 같은 더욱 장쇄의 분자의 합성인 경우, 일부 소형(C1-C4) 알칸, 올레핀, 산소화물 및/또는 다른 탄화수소계 화합물이 테일 가스 내로 혼입될 수 있다. 피셔-트롭쉬 합성으로부터의 주요 생성물을 바로 사용할 수 있고/있거나 목적하는 바와 같이 추가로 가공할 수 있다. 예를 들어, 증류물 비등 범위 분자를 형성하기 위한 피셔-트롭쉬 합성 공정은 예를 들어 목적하는쇄 길이, 휘발성 및 저온 유동 특성을 갖는 최종 생성물을 발생시키기 위하여 후속 탈왁스 및/또는 가수소 분해될 수 있는 하나 이상의 생성물 스트림을 생성시킬 수 있다.

- [0022] 피셔-트롭쉬 공정을 용융 카보네이트 연료 전지와 통합시키면, 합성 공정과 연료 전지 사이에서 공정 스트림을 통합시킬 수 있게 된다. 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지에 의해, 피셔-트롭쉬 공정의 최초 합성 가스 투입물을 생성시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 피셔-트롭쉬 공정에 의해 생성되는 테일 가스를 재순환시켜, 연료 전지의 애노드의 보충 연료 스트림을 제공하고/하거나 연료 전지 캐소드의 CO_2 공급원을 제공할 수 있다. MCFC/피셔-트롭쉬 시스템은 또한 또는 다르게는 가스 터빈 발전소 및 탄소 포획의 이용과 통합되어, 더욱 다량의 전기 및 액체 연료를 생성하는 전체적인 플랜트를 제공할 수 있다.
- [0023] 일부 양태에서는, 피셔-트롭쉬 공정에 의해 생성되는 테일 가스를 개선된 방식으로 사용하여, 캐소드 투입물 스트림의 CO_2 의 적어도 일부를 제공할 수 있다. 피셔-트롭쉬 합성 반응으로부터의 테일 가스는 통상 비교적 저가 스트림으로 생각될 수 있다. 테일 가스는 상당량의 CO_2 를 포함할 수 있고, 가능하게는 CO , H_2 , 소형 알칸 및/또는 소형 산소화물 같은 적어도 일부의 연료 성분을 포함할 수 있다. 비교적 낮은 농도의 연료 성분 및/또는 비교적 높은 농도의 CO_2 때문에, 테일 가스는 통상 연료로서 바로 사용되지 않는다. 테일 가스로부터 연료 성분을 제거하고자 분리를 수행할 수 있으나, 이러한 분리는 전형적으로 분리로부터 유도되는 연료의 양에 비해 효율적이지 못할 수 있다.
- [0024] 테일 가스 스트림으로부터 연료 성분을 분리하고자 시도하는 대신, 다양한 양태에서는, 테일 가스 스트림으로부터 CO_2 부분을 분리하고자 분리를 수행할 수 있다. 이는 CO_2 스트림 및 테일 가스 스트림의 나머지 부분을 생성시킬 수 있다. 이 분리 전략은 가능하게는 몇 가지 가능한 이점을 제공할 수 있다. 분리를 수행하여 CO_2 부분만을 단리하는 경우, 분리를 바람직하게 이용하여 비교적 고순도의 CO_2 스트림을 형성할 수 있다. 나머지 테일 가스 스트림중 연료의 농도가 보통 정도로만 증가할 수 있지만, 테일 가스 스트림의 총 부피가 감소되어 테일 가스 스트림의 나머지 부분이 캐소드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용되기에 더욱 적합하게 만들 수 있거나, 또는 가능하게는 나머지 부분을 캐소드 투입물 스트림으로서 사용할 수 있다. 캐소드 투입물 스트림으로서 사용하기 전에, 임의적으로는 테일 가스의 나머지 부분을 목적하는 캐소드 입구 온도까지 가열하면서, 테일 가스의 나머지 부분중 연료를 연소시켜 CO_2 및 H_2O 를 형성시킬 수 있다. 연소 후 테일 가스 스트림의 나머지 부분의 온도를 제어하기 위한 하나의 옵션이 분리 동안 제거되는 CO_2 의 양의 제어를 포함할 수 있음에 주목한다. 이 유형의 분리 전략은 연료를 단리하기 위한 분리를 수행할 필요 없이 테일 가스중의 연료를 효율적으로 사용하도록 할 수 있다. 추가로, 테일 가스중 CO_2 에 대해 부분적인 분리만이 수행되는 경우, 비교적 더 순수한 CO_2 스트림이 생성될 수 있다. 이러한 비교적 순수한 CO_2 스트림은 격리 또는 고순도 CO_2 를 포함하는 다른 용도에 적합할 수 있다.
- [0025] 일부 양태에서, MCFC와 피셔-트롭쉬 공정의 통합은 예컨대 증기 개질기 또는 자가열 개질기를 이용하는 종래의 공정과는 상이한 유형의 공정 흐름을 가능케 할 수 있다. 자가열 개질기로부터의 전형적인 합성 가스 산출물은 약 2:1 미만의 H_2 :CO 비를 가질 수 있다. 그 결과, 종래 공정에서 H_2 대 CO의 비의 변화가 요구되는 한도에서, 변화는 전형적으로 CO 양에 대한 H_2 양을 예컨대 약 2:1까지 증가시키는 것에 상응할 수 있다. 대조적으로, 다양한 양태에서, MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 조성은 적어도 약 2.5:1, 예를 들어 적어도 약 3:1의 H_2 :CO 비를 가질 수 있다. 일부 양태에서는, 약 2:1, 예를 들어 적어도 약 1.7, 또는 적어도 약 1.8, 또는 적어도 약 1.9, 및/또는 약 2.3 이하, 또는 약 2.2 이하, 또는 약 2.1 이하의 H_2 :CO 비를 갖는 합성 가스를 형성시키는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 양태에서는, 목적하는 비를 획득하기 위하여, H_2 의 양을 CO 양에 비해 감소시킬 수 있다. (고순도) H_2 스트림을 분리해내는 막을 이용한 역 수성 가스 전화 반응을 이용하여, 또는 H_2 :CO 비를 변화시키는 임의의 다른 편리한 방법에 의해, 이를 달성할 수 있다.
- [0026] 피셔-트롭쉬 합성은 다수의 MCFC 시스템의 특징을 유리하게 이용할 수 있다. 전형적으로는, 증기-개질, 자가열 개질, 또는 공기로부터 정제된 산소와 반응하는 메탄의 사용을 포함하는 부분적인 산화를 통해, 메탄으로부터 피셔-트롭쉬에 의해 생성되는 합성 가스를 제조할 수 있다. 이러한 시스템은 상당량의 자본 설비(공기 분리기)를 필요로 할 수 있고, 또한 올바른 H_2 /CO 비의 합성 가스(이는 또한 바람직하지 못한 불순물을 함유하지 않아야 함)를 생성시키기 위하여 전- 및 후-가스 세정의 다양한 단계를 이용해야 한다. 이는 더욱 생산적인 보조 촉매에 기초한(비-전화) 시스템(이는 황 같은 독소에 감수성임)에서 특히 그러할 수 있다. 피셔-트롭쉬 시스템은 상당한 열 관리 및/또는 열 교환을 필요로 할 수 있고, 비교적 고온에서 이루어질 수 있다.

- [0027] 발전 공정에서 MCFC 시스템은 합성 가스 생산을 수행할 수 있고, 대부분의 피셔-트롭쉬 독소를 견디고/견디거나 제거할 수 있는 애노드에 위치하는 다량의 촉매(전형적으로는 Ni-계)의 결과 깨끗한 합성 가스를 생산할 수 있다. 그 결과, MCFC에서 기체 가공, 열 교환 및/또는 세정을 적어도 부분적으로 수행할 수 있다. 또한, 목적하는 H_2/CO 비를 획득하기가 비교적 용이할 수 있는데, 왜냐하면 애노드 배기 가스가 네 가지 수성 가스 전화 성분 모두를 충분한 양으로 갖고, 물 및/또는 CO_2 제거 및/또는 추가적인 WGS(또는 역 전화)의 조합에 의해 간단히 조정될 수 있기 때문이다.
- [0028] 피셔-트롭쉬 반응기는 전형적으로 반응의 발열 특성으로 인해 다량의 증기를 생성시킬 수 있다. 플랜트 위치에 따라 증기의 생산적인 이용이 어려울 수 있다. 전기를 발생시키는 MCFC 시스템에 연결될 때, 시스템은 열 통합이 피셔-트롭쉬에 의한 과량의 증기/열을 이용할 수 있는 다수의 구역을 제공할 수 있다. 가능한 통합 예는 CO_2 제거 후(예컨대, 극저온 제거 후) 반응물을 가열하고/하거나, 들어오는 캐소드 산화제(공기)가 저온 CO_2 공급원으로부터 오는 경우 이를 가열하고/하거나, MCFC로부터의 복합 사이클 발전을 위해 이미 존재하는 열-회수 증기-발생 시스템으로 통합시킴을 포함할 수 있다.
- [0029] 피셔-트롭쉬 공정은 통상 경질 생성물 중으로 용이하게 혼입되지 않는 C1 내지 C4 탄화수소(가능하게는 C1 내지 C4 산소화물 포함)를 다량으로 제조할 수 있다. 이러한 C1 내지 C4 탄화수소 및/또는 산소화물을 바로 또는 미리 개질된 것들과 함께 MCFC로 재순환시킬 수 있고, 전력을 생성하고/시키거나 합성 가스를 재순환시키는데 사용할 수 있다.
- [0030] CO_2 의 사용이 추가적인 가치를 갖는 설비의 경우, 애노드 배기 가스로부터 포획된 CO_2 를 분리하면 추가적인 통합 기회를 제공할 수 있다. 이러한 CO_2 는, 전체 시스템을 향상시키면서, 예를 들어 보조 오일 회수기, 유정으로의 재주입, 또는 대기중 배기 가스로 폐기되기보다는 다른 목적에 맞게 만들어질 수 있는 다른 공정에 사용될 수 있다.
- [0031] 복합 피셔-트롭쉬 용융 카보네이트 연료 전지(FT-MCFC) 시스템의 애노드 투입물은, 신선한 메탄 공급물; 다른 유형의 탄화수소 또는 탄화수소계 공급물; CO , CO_2 , H_2 및 피셔-트롭쉬 반응기 및/또는 후속 가공 단계로부터의 경질 탄화수소중 하나 이상을 함유하는 하나 이상의 재순환 스트림을 기체로 하는 공급물; 또는 이들의 조합을 포함할 수 있거나 이들일 수 있다. 바람직하게는, 애노드 공급물은 천연 가스 및/또는 메탄을 포함할 수 있거나 이들일 수 있다. MCFC 시스템으로부터의 애노드 출구 스트림을 바로 사용할 수 있거나, 또는 더욱 통상적으로는 피셔-트롭쉬 합성에 최적화되도록 하기 위해 다양한 다른 공정을 거쳐 H_2/CO 비를 조정하고/하거나 물 및 CO_2 함량을 감소시킬 수 있다. 이러한 조정 공정은 분리, 수성 가스 전화 반응, 응축 및 흡착 등, 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.
- [0032] 애노드 입구 스트림은 CO_2 를 함유할 수 있고, 존재하는 경우 별도의 연소 공정으로부터 유래할 수 있다(예컨대, 가스 터빈 및/또는 다른 CO_2 배기 가스로부터). 추가로 또는 다르게는, 캐소드 입구 스트림은 추가로 또는 다르게는 적어도 부분적으로는 MCFC 애노드로부터의 스트림(분리 후)의 재순환에 의해 및/또는 피셔-트롭쉬 공정으로부터의 재순환에 의해 발생될 수 있다. 추가로 또는 달리, 캐소드 입구 스트림은 피셔-트롭쉬 공정의 테일 가스로부터 유래되는 CO_2 를 함유할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드 입구 스트림은 신선한 메탄 또는 탄화수소 공급물의 연소로부터 부분적으로 유래할 수 있다. 캐소드 배기 가스는 임의적으로는, 그러나 바람직하게는 예컨대 다른 공정 스트림 및/또는 복합 사이클 발전에 열을 제공하기 위한 열 회수 후에 전형적으로 대기중으로 배출될 수 있으나, 캐소드 배기 가스는 임의적으로는, 그러나 덜 바람직하게는 요구되는 바에 따라 추가적인 처리를 위해 보내질 수 있다.
- [0033] MCFC 연료 이용 조건을 조정하여 합성 가스 산출물에 대해 목적하는 양의 전기 에너지를 제공할 수 있다. 상당한 전기가 필요한 용도(예를 들어, 초대형 원양 원유 플랫폼 옆의 소형 가스 생산)의 경우, FT-MCFC 시스템은 비례해서 더 많은 전력을 생산할 수 있다. 상당한 기반 시설이 존재하는 대규모 전환에 기초한 작동은 다양한 전기/화학적 혼합물을 생성시킬 수 있고, 지역적 요구에 기초하여 산출물을 변화시킬 수 있다.
- [0034] 도 6은 피셔-트롭쉬 합성을 수행하기 위한 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예컨대, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 6에서, 용융 카보네이트 연료 전지(610)는 개략적으로 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예를 들어, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 나타낸다. 연료 전지(610)는 개질가능한 연료 스트림 같은 애노드 투입물 스트림(605),

및 CO₂-함유 캐소드 투입물 스트림(609)을 받아들일 수 있다. 연료 전지(610)로부터의 캐소드 산출물은 도 6에 도시되어 있지 않다. 연료 전지(610)로부터의 애노드 산출물(615)은 임의적으로는, 그러나 바람직하게는, 임의의 목적하는 순서대로, 아래에 기재되는 바와 같이, 또한 도 1 및 도 2에 추가로 예시되는 바와 같이, 하나 이상의 분리 스테이지(620)(이는 CO₂, H₂O 및/또는 H₂ 분리 스테이지를 포함할 수 있음) 및/또는 하나 이상의 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과할 수 있다. 분리 스테이지는 CO₂ 산출물 스트림(622), H₂O 산출물 스트림(624) 및/또는 H₂ 산출물 스트림(626)에 상응하는 하나 이상의 스트림을 생성시킬 수 있다. 분리 스테이지는 또한 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(630)의 투입물로서 사용하기 적합한 합성 가스 산출물(625)도 생성시킬 수 있다.

[0035]

도 6에 도시된 체제에서, 애노드 출구는 비교적 다량의 물 및 CO₂를 갖고 바람직한 2:1 비보다 더 높은 H₂:CO 비를 나타내는 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 일련의 단계에서는, 스트림을 냉각시켜 물을 제거한 다음, CO₂ 분리 스테이지를 통해 통과시켜 대부분의 CO₂를 제거할 수 있다. 애노드 산출물 스트림 및/또는 생성되는 배기 가스는 비교적 높은 H₂:CO 비(전형적으로는 약 2.5 내지 약 6:1, 예컨대 약 3:1 내지 약 5:1) 및 역 수성 가스 전화 반응의 반응물을 제공하기에 충분한 CO₂를 가질 수 있다. 이어, 애노드 산출물 스트림 및/또는 생성되는 배기 가스를 비교적 고온(전형적으로는 약 400℃ 내지 약 550℃)(이 온도에서는 CO₂가 H₂와 반응하여 CO+H₂O를 생성시킬 수 있음)로 가열할 수 있다. 생성된 기체는 통상적인 2:1에 근접한 H₂:CO 비를 나타낼 수 있다. 이 기체를, 비-전화 피셔-트롭쉬 촉매를 함유하는 피셔-트롭쉬 반응기 중으로 공급할 수 있다. 대안으로서, 에너지 관리 관점에서는, 먼저 역 수성 가스 전화 반응을 수행한 다음 편리한 순서대로 CO₂와 H₂O를 분리해내는 것이 바람직할 수 있다.

[0036]

피셔-트롭쉬 반응 스테이지(630)는 바로 사용될 수 있거나 추가적인 가수소 가공 같은 추가의 가공을 거칠 수 있는 피셔-트롭쉬 생성물(635)을 생성시킬 수 있다. 요구되는 경우 피셔-트롭쉬 왁스의 가수소 가공을 전형적으로는 수소의 존재하에 승온 및 승압에서 수행하여 디젤 블렌딩 원료 및/또는 윤활유 기체 원료 같은 유용한 생성물일 수 있는 물질(예를 들어, 하나 이상의 비-기체 생성물)을 생성시킬 수 있다. 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(630)는 추가로 또는 다르게는 예를 들어 연료 전지(610)의 애노드 및/또는 캐소드 부분에 대한 재순환된 연료(645)로서 사용하기 위해 임의적으로 재순환될 수 있는 태일 가스(637)를 생성시킬 수 있다. 대부분의 경우, 이 스트림을 적어도 캐소드로 재순환시키는 것이 바람직할 수 있으며, 이 때 잔류 연료 성분(CO, H₂, 및 경질 탄화수소)을 혼합하고 산화제(공기)로 연소시켜 캐소드 투입물에 적절한 온도에 도달시킬 수 있다. 임의적으로는, 분리 스테이지(들)(620)로부터의 CO₂ 산출물(622)을 연료 전지(610)의 캐소드의 투입물(도시되지 않음)의 적어도 일부로서 사용할 수 있으나, 이는 통상적으로 바람직하지는 않다.

[0037]

대부분의 실시양태에서는, MCFC 시스템으로부터의 합성 가스 산출물을 피셔-트롭쉬 공정용 합성 가스의 공급원으로서 이용할 수 있다. 전화 FT 촉매(예를 들어, Fe-계 촉매)의 경우, 전화 촉매는 피셔-트롭쉬 생성물을 생성하는 반응 조건하에서 수성 가스 전화 반응(또는 역 수성 가스 전화 반응)을 통해 통상적인 2:1과는 상이하다 하더라도 H₂/CO 비를 조정할 수 있다. 특정 실시양태에서는 더 낮은 H₂:CO 비가 요구될 수 있으나, 개별적인 시스템은 전화 촉매에 노출시키기 전에 이 비를 조정할 것인지 조정하지 않을 것인지를 선택할 수 있다. 일부 양태에서는, 전화 촉매를 사용하는 경우 도입하기 전의 CO₂ 제거를 감소시키거나 최소화할 수 있다. 코발트를 기제로 하는 피셔-트롭쉬 합성 촉매(또는 다른 유형의 비-전화 촉매)를 사용하는 경우, 합성 촉매는 전형적으로 피셔-트롭쉬 반응 조건에서 수성 가스 전화 반응을 수행하는데 의미있는 활성을 갖지 않는다. 그 결과, 비-전화 피셔-트롭쉬 촉매에 노출된 합성 가스 스트림에 존재하는 CO₂는 주로 희석제로서 작용할 수 있고, 따라서 희석으로 인해 반응기 생산성을 낮추는 경향이 있을 수는 있으나 피셔-트롭쉬 반응을 실질적으로 방해하지 않을 수 있다. 그러나, 촉매의 비-전화 특성 때문에, 촉매는 피셔-트롭쉬 반응기에 들어가는 합성 가스의 H₂:CO 비를 용이하게 조정할 수 없다.

[0038]

도 7은 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예를 들어, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 다른 예를 개략적으로 도시한다. 도 7에 도시된 구성은 예를 들어 보다 큰 규모의 시스템에 사용하기 적합할 수 있다. 도 7에서, 용융 카보네이트 연료 전지(710)는 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예를 들어, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 개략적으로 나타

낸다. 연료 전지(710)는 개질가능한 연료 스트림 같은 애노드 투입물 스트림(705), 및 CO₂-함유 캐소드 투입물 스트림(709)을 받아들일 수 있다. 캐소드 투입물 스트림(709)은 연소에 의해 전력을 얻는 터빈으로부터의 배기 가스, 통합된 피셔-트롭쉬/MCFC 시스템의 다른 기체 스트림으로부터의 재순환 스트림, 열을 발생시키기 위하여 연소된 메탄 스트림, 및/또는 연료 전지에 목적하는 온도의 CO₂를 제공할 수 있는 다른 편리한 스트림에 상응할 수 있다. 캐소드 투입물 스트림(709)은 전형적으로 산소-함유 스트림의 일부를 포함할 수 있다. 연료 전지(710)로부터의 애노드 산출물(715)을 먼저 역 수성 가스 전화 스테이지(740)를 통해 통과시켜 애노드 배기 가스의 H₂:CO 비를 변화시킬 수 있다. 이어, 개질된 애노드 배기 가스(745)를 하나 이상의 분리 스테이지(720)(이는 CO₂ 및 H₂O 분리 스테이지를 포함할 수 있음)에 통과시킬 수 있다. 분리 스테이지는 CO₂ 산출물 스트림(722) 및/또는 H₂O 산출물 스트림(724)에 상응하는 하나 이상의 스트림을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 그러나 바람직하게는, 피셔-트롭쉬 공정에 사용하기 위한 분리 스테이지(들)로부터의 산출물은 애노드 배기 가스의 CO₂ 농도의 절반 미만인 CO₂ 농도, 애노드 배기 가스의 H₂O 농도의 절반 미만인 H₂O 농도, 또는 이들의 조합을 가질 수 있다. 압축기(도시되지 않음)를 분리 스테이지(720)의 일부 또는 전부의 뒤에 사용하여, 피셔-트롭쉬 반응 공정에 요구되는 투입물 압력을 달성할 수 있다. 임의적으로는, H₂ 산출물 스트림(도시되지 않음)을 추가로 또는 달리 발생시킬 수 있다. 분리 스테이지는 전형적으로 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(730), 예컨대 비-전화 피셔-트롭쉬 합성 촉매의 투입물로서 사용하기에 적합할 수 있는 합성 가스 산출물(725)을 생성시킬 수 있다. 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(730)는 피셔-트롭쉬 액체 생성물(735), 저온 비등 C₂-C₄ 화합물(732) 및 테일 가스(737)를 생성시킬 수 있다. 저온 비등 C₂-C₄ 화합물을 액체 생성물로부터 분리한 다음 추가적인 반응의 생성물 및/또는 원료 물질로서 사용하기 위해 추가로 단리할 수 있다. 또한 또는 다르게는, C₂-C₄ 화합물을 테일 가스(737)에 잔류시킬 수 있고, 예컨대 연소 후 캐소드로 재순환시켜 연료 전지 캐소드에 열 및 CO₂를 제공할 수 있다.

[0039] 통합 용도의 예 - 분산 처리

[0040] 단리된 구역에서의 용도와 같은 일부 피셔-트롭쉬 용도의 경우, 복합 FT-MCFC 시스템은, 이 조건을 넘는 추가적인 탄화수소 투입물을 더욱 높은 가치의 생성물로 전환시키면서, 시스템을 작동시키기 위한 국부적인 전력의 적어도 일부를 제공하고, 추가로 또는 다르게는 다른 설비 또는 인근 장소에 추가적인 전력을 제공하도록 크기가 결정되는 이점을 가질 수 있다. 제공되는 전력은 시스템 및/또는 인근 장소에 필요한 전력중 일부 또는 전부일 수 있다. 이러한 설비는 단리된 육지의 기체 공급원, 선박 및/또는 플랫폼에 설치된 해양 설비 등을 포함할 수 있다. 연료 전지 스택 또는 어레이의 크기 및 수에 기초한 MCFC 시스템 크기 조정의 용이성 때문에, 매우 소형부터 세계적인 규모의 설비까지 임의의 인지가 가능한 규모로 통합될 수 있다.

[0041] 피셔-트롭쉬 합성은 전통적으로 매우 큰 규모로 수행될 때 가장 실용적인 것이었다. 이는 주로 공기 분리, 메탄의 합성 가스로의 개질(예를 들면, 자가열 개질, 촉매에 의한 부분 산화 등에 의해), 및 탄화수소 합성 반응을 비롯한 몇 가지 핵심 공정의 규모의 경제성 때문이었다. 통상적으로, 단일 공정 "트레인"은 생성물 10,000배럴/일보다 많은 생성물을 생성시킬 수 있고, 30,000 내지 150,000배럴/일의 전체 플랜트 크기가 상업적으로 실용적이었다. 이 크기의 작동을 위해, 매우 큰 가스 광상이 요구되었고, 이는 경제적으로 합리적인 관점에서 기술의 적용을 몇몇 가스 저장고로만 한정하였다.

[0042] 이러한 종래의 대규모 작동과는 대조적으로, 몇몇 양태에서는, 더 작은 가스 광상에 유리하게 적용될 수 있는 효율적인 시스템에 피셔-트롭쉬 합성을 이용하기 위한 공정 및 시스템이 제공된다. 이 공정 및 시스템은 MCFC를 이용하여 피셔-트롭쉬 반응기에 공급하기 위한 합성 가스를 생성시킬 수 있고, 반드시 종래의 대규모 플랜트의 복잡한 설비중 다수를 포함할 필요가 없을 수 있다. MCFC 시스템은 합성 가스로부터 액체 생성물로의 매우 높은 탄소 전환을 발생시키면서 압축기 및 펌프 같은 다양한 부속 시스템용 전력의 적어도 일부(가능하게는 전부)를 생성시킬 수 있다. 이는 다양한 구성으로 전화 또는 비-전화 촉매와 함께 사용될 수 있으며, 고온 또는 저온 피셔-트롭쉬 공정에 적합할 수 있다.

[0043] 상기 나타난 바와 같이, 적합한 피셔-트롭쉬 촉매의 예는 일반적으로 촉진제, 예를 들어 루테튬, 레늄 및/또는 지르코늄을 갖거나 갖지 않는 지지되거나 지지되지 않은 VIII족 비-귀금속, 예를 들어 Fe, Ni, Ru 및/또는 Co를 포함할 수 있다. 이들 피셔-트롭쉬 공정은 고정상, 유동상, 및/또는 슬러리 탄화수소 합성 같은 반응기를 이용하여 실행될 수 있다. 몇몇 피셔-트롭쉬 공정은 코발트 및/또는 루테튬을 기체로 하는, 바람직하게는 적어도 코발트, 바람직하게는 지르코늄 및/또는 레늄(바람직하게는 레늄을 포함하거나 레늄임)을 포함하거나 이들인 촉

진제를 갖는 촉진되는 코발트를 포함하는 비-전화 촉매를 이용할 수 있다. 이러한 촉매는 널리 공지되어 있고, 바람직한 촉매는 미국 특허 제 4,568,663 호 및 유럽 특허 제 0 266 898 호에 기재되어 있으며, 이들 두 특허는 이러한 촉매 및 그의 물리화학적 특징의 설명과 관련하여 본원에 참고로 인용된다. 피셔-트롭쉬 공정에 사용되는 합성 가스 공급물은 $H_2:CO$ 가 약 1.7 이상, 바람직하게는 약 1.75 이상, 더욱 바람직하게는 1.75 내지 2.5, 예를 들어 약 2.1 이상, 및/또는 약 2.1 이하의 비로 존재하는 H_2 와 CO 의 혼합물을 포함할 수 있다. 비-전화 촉매의 경우, MCFC에 의해 생성되는 합성 가스는 전형적으로 2:1보다 훨씬 높은 $H_2:CO$ 비로 시작될 수 있으며, 추가적인 공정을 이용하여 합성 가스 혼합물을 통상적인 약 2:1의 통상적인 $H_2:CO$ 비에 근접하도록 "전화"시킬 수 있다.

[0044]

다르게는, 전화 촉매(예컨대, Fe-계 촉매)를 사용할 수 있다. 전화 촉매의 생성물 분포 및 전체 생산성은 때때로 비-형태 전환 시스템보다 열등한 것으로 생각될 수 있지만, 전화 촉매에 기초한 시스템은 더 넓은 범위의 합성 가스 혼합물(더 넓은 $H_2:CO$ 비의 범위를 가짐)을 사용할 수 있다는 뚜렷한 이점을 가질 수 있다. 통상적으로, 전화 촉매는 주로 약 0.7 내지 약 1.5의 $H_2:CO$ 비를 갖는 석탄에서 공급되는 합성 가스를 수용하도록 사용되었다. 대조적으로, 본원에서 사용되는 합성 가스 혼합물은 과량의 H_2 를 함유할 수 있을 뿐만 아니라, 큰 백분율의 CO_2 를 함유할 수 있다. 전화 촉매를 혼입하는 시스템은, 일부 실시양태에서는 반응물을 약 2:1 $H_2:CO$ 비로 미리 전화시킬 필요 없이, 유리하게는 이들 혼합물을 "역-전화"시켜, H_2 와 CO_2 를 반응시킴으로써 피셔-트롭쉬 반응기용의 추가적인 CO 를 생성시킬 수 있다.

[0045]

분산 처리 환경에서, 피셔-트롭쉬 공정은 약 $150^\circ C$ 내지 약 $300^\circ C$ (약 $302^\circ F$ 내지 약 $626^\circ F$)의 온도 및 약 100kPaa 내지 약 10MPaa(약 1바 내지 약 100바)의 압력에서 수행될 수 있다. 피셔-트롭쉬 공정의 반응 조건을 변화시키면, 반응 생성물의 쇄 길이의 적어도 일부의 제어를 비롯하여 반응 생성물의 수율 및/또는 조성을 제어할 수 있다. 전형적인 반응 생성물은 알칸(주요 반응 생성물), 및 산소화물, 올레핀, 탄화수소와 유사하지만 탄소 및 수소와는 상이한 하나 이상의 헤테로원자를 함유할 수 있는 다른 탄화수소계 화합물, 및/또는 다양한 추가적인 반응 부산물 및/또는 미반응 공급물 성분을 포함할 수 있다. 이들 추가적인 반응 생성물 및 존재하는 경우 공급물 성분은 H_2O , 미반응 합성 가스(CO 및/또는 H_2), CO_2 및 N_2 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 이들 추가적인 반응 생성물 및 미반응 공급물 성분은 추가로 또는 다르게는 피셔-트롭쉬 공정의 주요 반응 생성물로부터 분리될 수 있는 테일 가스를 형성할 수 있다. 피셔-트롭쉬 공정의 목적이 나프타 공급물, 디젤 공급물 및/또는 다른 증류물 비등 범위의 분자로서 사용하기 적합한 화합물 같은 더욱 장쇄의 분자의 합성인 경우, 일부 소형($C1-C4$) 알칸, 올레핀, 산소화물 및/또는 다른 탄화수소계 화합물이 테일 가스 내로 혼입될 수 있다. 피셔-트롭쉬 합성으로부터의 주요 생성물은 바로 사용할 수 있고/있거나 추가로 가공할 수 있다. 예를 들어, 증류물 비등 범위 분자를 형성하기 위한 피셔-트롭쉬 합성 공정은 예를 들어 목적하는 쇄 길이, 휘발성 및 저온 유동 특성을 갖는 최종 생성물을 발생시키기 위하여 후속 탈락스 및/또는 가수소 분해될 수 있는 하나 이상의 생성물 스트림을 생성시킬 수 있다.

[0046]

전형적인 작동 조건 하에서, MCFC 애노드 배기 가스에서의 대표적인 기체 조성은, 약 2.5:1 내지 약 10:1일 수 있고 대부분의 실시양태에서 약 3:1 내지 약 5:1의 범위에 속할 수 있는 $H_2:CO$ 비를 가질 수 있다. 이 애노드 배기 가스 조성물은 상당량의 물 및 CO_2 를 둘 다 함유할 수 있다.

[0047]

통합된 MCFC-FT 시스템은 유리하게 이용될 수 있는 몇 가지 대체 구성중 임의의 하나 이상을 허용하여 종래의 피셔-트롭쉬에 전형적인 공정을 피할 수 있다. 종래의 구성과 몇 가지 유사점을 갖는 양태에서는, 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스를 2:1 $H_2:CO$ 비(예를 들어, 약 2.5:1 내지 약 1.5:1, 약 1.7:1 내지 약 2.3:1, 약 1.9:1 내지 약 2.1:1, 약 2.1:1 내지 약 2.5:1, 또는 약 2.3:1 내지 약 1.9:1)에 근접하게 전화시킬 수 있고, 대부분(절반 이상)의 CO_2 및 H_2O 를 제거할 수 있다. 다르게는, 다른 구성에서는, 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스를 임의의 조성 변화 없이, 그러나 온도와 압력을 적절한 피셔-트롭쉬 촉매 조건으로 간단히 조정하여 그 자체로 사용할 수 있다. 또 다른 구성에서는, 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스를(수성 가스) 전화시키지 않고 사용할 수 있으나, 물을 응축시키고 대부분 제거하여 H_2 , CO 및 CO_2 를 포함하고 다른 기체를 소량(전형적으로는 5% 미만) 갖는 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 또 다른 구성에서는, 물을 임의적으로 제거한 다음, 애노드 배출물로부터의 합성 가스를 수성 가스 전화 반응기에서 반응시켜 전화 공정을 "역전"시킴으로써, 더 많은 CO_2 를 CO 로 전환시키고 $H_2:CO$ 비를 약 2:1에 더 근접하게(예를 들어, 약 2.5:1 내지 약 1.5:1, 약 1.7:1 내

지 약 2.3:1, 약 1.9:1 내지 약 2.1:1, 약 2.1:1 내지 약 2.5:1, 또는 약 2.3:1 내지 약 1.9:1) 다시 균형을 잡을 수 있다. 다른 구성에서는, 전화 공정 후에, 또는 전화 공정 전에, 일부 CO₂를 분리하여 탄소 포획을 위한 CO₂를 제공하고/하거나 애노드 배출물로부터의 합성 가스에서의 CO₂ 회석을 감소시킬 수 있다.

[0048]

중래의 피셔-트롭쉬 공정에서, 메탄 및 다른 C1-C4 기체와 함께 미반응 합성 가스를 함유하는 테일 가스는 미반응 생성물 및 저가 생성물을 나타낼 수 있다. 초대형 설비에서, 이들 경질 기체는 당연히 추가적인 가공(예를 들어, C2 및 C3 분자의 플라스틱용 올레핀으로의 분해, 액화된 프로판 가스 또는 부탄의 회수 등)을 받을 수 있다. 전환되지 않은 합성 가스 및 메탄을 피셔-트롭쉬 합성 반응기로 재순환시켜, 효율 상실 및 반응기 처리량 상실을 나타낼 수 있다. 분산 시스템 환경에서는, 생성물 액체로 전환되지 않은 보다 경질 기체중 일부 또는 전부를 연료 전지의 애노드에 대한 공급물로서 더욱 유리하게 사용할 수 있고/있거나 연료 전지 캐소드에 대한 CO₂의 공급원을 제공하기 위해 더욱 유리하게 사용할 수 있다.

[0049]

분산 환경에서 MCFC-FT 시스템의 공정 흐름의 일례에서는, MCFC로부터의 애노드 배출물을 감소되거나 최소화된 가공 후 피셔-트롭쉬 반응 시스템으로의 투입물로서 사용할 수 있다. 피셔-트롭쉬 촉매가 전화 촉매인 경우, 애노드 배출물을 피셔-트롭쉬 반응에 적합한 압력까지 압축시킬 수 있다. 압축 공정은 우연히 및/또는 의도적으로 물을 약간 분리/제거할 수 있다. 피셔-트롭쉬 촉매가 비-전화 촉매인 경우, 전형적으로는 압축 전에 추가적인 역 수성 가스 전화 반응을 수행하여 애노드 배출물중 합성 가스 H₂:CO 비를 조정할 수 있다. 임의적으로는, 역 수성 가스 전화 반응에 추가적으로 또는 그 대신에 수소-투과성 막, 다른 기체-투과성 막, 또는 다른 분리 기법을 이용하여, 애노드 배출물중 H₂:CO 비 조정의 일부로서 (고순도) H₂ 스트림을 분리해낼 수 있다. 다르게는, 애노드 배출물의 추가적인 분리 및/또는 변화를 피하여, 애노드 배출물을 최소한의 가공으로 피셔-트롭쉬 시스템에 사용할 수 있게 할 수 있다. 애노드 배기 가스가 상당한 함량의 CO₂를 갖기 때문에, 애노드 배기 가스의 일부를 피셔-트롭쉬 공정의 투입물로서 사용하기 전의 분리 및/또는 변화의 수를 감소 또는 최소화함으로써, 또한 상당한 함량의 CO₂를 함유할 수 있는 피셔-트롭쉬 투입물 스트림을 가질 수 있다. 예를 들어, 피셔-트롭쉬 투입물 스트림중 CO₂의 농도(예컨대, 부피%)는 애노드 배기 가스중 농도의 약 60% 이상, 또는 약 65% 이상, 또는 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상, 또는 약 85% 이상, 또는 약 90% 이상일 수 있다. MCFC로부터의 애노드 배기 가스의 CO₂ 함량뿐만 아니라 상당량의 CO₂를 독립적으로 발생시키는 피셔-트롭쉬 시스템의 경향 때문에, 피셔-트롭쉬 생성물 배기 가스에는 상당한 농도의 CO₂가 존재할 수 있다. 이 CO₂는 격리/포획, 추가적인 가공, 및/또는 하나 이상의 다른 공정에서의 사용을 위해 피셔-트롭쉬 시스템의 다른 생성물로부터 적어도 부분적으로 분리될 수 있다.

[0050]

도 8은 피셔-트롭쉬 합성을 수행하기 위한 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예컨대, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 8의 구성은 소규모 또는 다른 분산 환경 설정에서 사용하기 적합할 수 있다. 도 8에서, 용융 카보네이트 연료 전지(810)는 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예를 들어, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 개략적으로 나타낸다. 연료 전지(810)는 개질가능한 연료 스트림 같은 애노드 투입물 스트림(805), 및 CO₂-함유 캐소드 투입물 스트림(809)을 받아들일 수 있다. 애노드 산출물(815)을 임의적인 역 수성 가스 전화 스테이지(840)를 통해 통과시킬 수 있다. 예를 들어, 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(830)가 전화 촉매를 포함하는 경우에는, 수성 가스 전화 스테이지(840)를 뺄 수 있다. 이어, 임의적으로 전화되는 애노드 배기 가스(845)를 압축기(860)에 통과시켜, 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(830)에 요구되는 투입물 압력을 획득할 수 있다. 임의적으로는, 임의적으로 전화되는 애노드 배기 가스(845)에 존재하는 물의 일부를 압축(860) 전에, 압축 동안 및/또는 압축 후에 제거할 수 있다(864). 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(830)는 바로 사용될 수 있거나 또는 추가적인 가수소 가공 같은 추가적인 가공을 거칠 수 있는 피셔-트롭쉬 생성물(835)을 생성시킬 수 있다. 피셔-트롭쉬 반응 스테이지(830)는 또한 연료 전지(810)의 캐소드 부분에 대한 재순환된 연료(845)로서 사용하기 위하여 재순환될 수 있는 테일 가스(837)도 발생시킬 수 있다. 재순환시키기 전에, 테일 가스(837)에 존재하는 CO₂의 적어도 일부(862)를 테일 가스로부터 분리할 수 있다. 다르게는, 테일 가스(837)로부터 피셔-트롭쉬 생성물(835)을 분리하기 전에, 분리하는 동안, 및/또는 분리한 후에 CO₂ 분리를 수행할 수 있다.

[0051]

예 1 - 소규모 FT 가공 시스템과 MCFC의 통합

[0052]

이 예는 피셔-트롭쉬 공정의 합성 가스 투입물을 제공하기 위하여 MCFC 작동과 통합된 소규모 피셔-트롭쉬 공정

의 작동을 기재한다. 이 예에서 피셔-트롭쉬 공정은 약 6000배럴/일의 피셔-트롭쉬 액체 생성물을 생성시킬 수 있다. 이 예에서 피셔-트롭쉬 공정과 MCFC를 통합하기 위한 구성은 도 8에 도시된 구성의 변형이었다. 그러므로, 이 예에서는, 피셔-트롭쉬 공정에 애노드 배기 가스를 도입하기 전에 애노드 배기 가스 상에서 감소되거나 최소화된 양의 분리 또는 변화를 수행할 수 있다. 이 예에서는, 포획을 위해 피셔-트롭쉬 테일 가스로부터 CO₂를 분리한 경우 및 포획을 수행하지 않은 경우 둘 다에 대한 시뮬레이션 결과가 도시된다. 이 예에서, 애노드 투입물은 작은 국부적인 공급원으로부터의 메탄 같은 신선한 메탄을 포함하였다. 이 예에서의 캐소드 투입물은 임의적으로는 격리를 위해 CO₂를 분리한 후 캐소드 투입물을 형성시키기 위하여 테일 가스의 연소를 이용한 데 기초하였다. 그러나, 임의의 편리한 공급원에 의해 캐소드 투입물을 제공할 수 있다.

[0053]

도 9는 몇 가지 상이한 조건 세트에서 수행된 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 도 9에서, 처음 두 칼럼은 피셔-트롭쉬 반응에 Co-계(비-전화) 촉매를 사용한 시뮬레이션 결과를 보여주는 한편, 세 번째와 네 번째 칼럼은 Fe-계(전화) 촉매를 사용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. Co-계 촉매의 경우, 애노드 산출물 스트림 상에서 추가적인 "역" 수성 가스 전화를 수행하여, H₂:CO 비를 목표하는 2:1 비에 더 근접한 값으로 감소시켰다. Fe-계 촉매를 사용하는 경우에는, 애노드 산출물 스트림의 일부를 피셔-트롭쉬 시스템 내로 도입하기 전에 애노드 산출물 상에서 추가적인 전화 반응을 수행하지 않았다. 첫 번째와 세 번째 칼럼은 CO₂ 포획이 없는 시스템으로부터의 시뮬레이션 결과를 보여주는 한편, 두 번째와 네 번째 칼럼은 격리를 위해 CO₂를 피셔-트롭쉬 테일 가스로부터 분리한 시스템으로부터의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 제거되는 CO₂의 양은, 캐소드 배기 가스중 CO₂ 함량을 약 1% 이상으로 유지하기에 충분한 CO₂를 캐소드에 제공하면서, 두 번째와 네 번째 칼럼에 필적하도록 선택되었다. 이들 시뮬레이션 모두에서, 애노드에서의 연료 이용률은 약 35%였다. 메탄의 약 40%를 연료 전지에서 개질시켰고, 나머지 메탄을 더욱 빠른 통합된 개질 스테이지에서 개질시켰다. 애노드 공급물중 증기 대 탄소 비는 약 2였다. 증기 터빈으로부터의 전력에 상응하는 줄은 캐소드 배기 가스로부터의 열 회수에 의해 발생된 추가적인 전력을 나타낸다.

[0054]

증기 개질기와는 달리, MCFC는 연료를 개질시키고 캐소드 투입물 스트림으로부터의 CO₂ 분리를 보조하면서 전력을 발생시킬 수 있다. 그 결과, 소규모 피셔-트롭쉬 시스템의 경우에도, 통합된 MCFC-FT 시스템은 투입물 탄소 양과 비교하여 합당한 순 효율을 제공할 수 있다. 도 9에 도시된 바와 같이, 시스템 및 연료 전지 애노드를 가열하기 위한 버너(들)로의 순 탄소 투입물과 비교하여, 피셔-트롭쉬 액체 생산의 총 플랜트 효율은 약 60% 내지 약 70%, 예컨대 약 63% 이상이었다. 총 플랜트 효율은 총 투입물과 비교한 플랜트의 통합된 전기 및 화학적(피셔-트롭쉬 액체 생성물) 산출물에 기초한 효율을 나타낸다.

[0055]

예 2 - FT 가공 시스템과 MCFC의 통합

[0056]

이 예는 피셔-트롭쉬 공정의 합성 가스 투입물을 제공하기 위하여 MCFC의 작동과 통합된 피셔-트롭쉬 공정의 작동을 기재한다. 터빈으로부터의 배기 가스를 MCFC의 캐소드로의 투입물로서 사용함으로써, 연소 터빈을 또한 이 공정과 통합시켰다. MCFC를 피셔-트롭쉬 공정과 통합시키기 위한 구성은 도 7에 도시된 구성의 변형이었다. 이 예에서는, 피셔-트롭쉬 공정으로의 투입 전에 애노드 배기 가스로부터 CO₂를 분리한 제 1 구성, 및 그대신 CO₂를 피셔-트롭쉬 테일 가스로부터 분리한 제 2 구성에 대한 결과를 보여준다. 두 구성은 모두 비-전화 촉매를 사용하였으므로, 두 시뮬레이션에서 모두 역 수성 가스 전화를 수행하여 H₂:CO 비를 조정하였다. 이 예에서, 애노드 투입물은 신선한 메탄을 포함하였다.

[0057]

도 10은 수행된 시뮬레이션으로부터의 결과를 보여준다. 도 10에 도시된 시뮬레이션에서는, 연료 전지에 대해 약 30%의 연료 이용률을 이용하였다. 통합된 발전 및 피셔-트롭쉬 생성물 생성 면에서의 총 효율은 약 61%였으며, 이는 예 1의 시뮬레이션의 효율과 비슷하였다. 그러나, 총 효율의 약 40%는 이 예의 발전에 상응하였다.

[0058]

메탄올 중간체 및 최종 생성물의 생성과의 통합

[0059]

메탄올은 전형적으로 고압 및 고온에서 CO, H₂ 및 임의적으로는 CO₂를 포함하는 혼합물 같은 합성 가스 혼합물로부터 제조될 수 있다. 통상적으로, 대다수의 메탄올 플랜트는 공급원료로서 천연 가스를 이용할 수 있고, 증기 개질, 자가열 개질 또는 부분적인 산화 같은 통상적인 공정에 의해 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 대부분의 통상적인 구성은 1회 통과당 비교적 낮은 전환율을 생성시킬 수 있는 촉매를 이용하고, 다양한 오프-가스 및 퍼지 스트림의 생성과 함께 상당한 재순환을 포함할 수 있다.

- [0060] 용융 카보네이트 연료 전지와 메탄올 합성을 통합시키면, 더 높은 효율 및/또는 더 낮은 배출가스를 위해 디자인된 신규 구성을 허용할 수 있다. 메탄올 합성 동안, 일산화탄소와 수소를 촉매 상에서 반응시켜 메탄올을 생성시킬 수 있다. 상업적인 메탄올 합성 촉매는 매우 선택적일 수 있고, 최적화된 반응 조건 하에서는 99.8%보다 높은 선택성이 가능하다. 전형적인 반응 조건은 약 5MPa 내지 약 10MPa의 압력 및 약 250℃ 내지 약 300℃의 온도를 포함할 수 있다. 메탄올 합성을 위한 합성 가스 투입물과 관련하여, 바람직한 H_2 대 CO 의 비(약 2:1의 $H_2:CO$)는 증기 개질에 의해 발생하는 전형적인 비와 매치되지 않는다. 그러나, 합성 가스로부터의 메탄올 형성을 용이하게 하는 촉매는 때때로 추가로 수성 가스 전화 반응을 용이하게 할 수 있다. 그 결과, 아래의 반응식은 메탄올을 형성시키는데 CO_2 를 또한 사용할 수 있음을 보여준다:
- [0061] $2H_2+CO=>CH_3OH$
- [0062] $3H_2+CO_2=>CH_3OH+H_2O$
- [0063] 메탄올 합성 반응에 있어서, 합성 가스 투입물의 조성은 모듈 값 M에 의해 특징화될 수 있다:
- [0064] $M=[H_2-CO_2]/[CO+CO_2]$
- [0065] 2에 가까운 모듈 값, 예를 들어 약 1.7 이상, 또는 약 1.8 이상, 또는 약 1.9 이상, 및/또는 약 2.3 미만, 또는 약 2.2 미만, 또는 약 2.1 미만의 M 값이 통상 메탄올 생성에 적합할 수 있다. 상기 모듈 값 방정식으로부터 알 수 있는 바와 같이, H_2 대 CO 의 비 이외에, 합성 가스중 CO 대 CO_2 의 비는 메탄올 합성 반응의 반응 속도에 영향을 줄 수 있다.
- [0066] 작동 동안, 용융 카보네이트 연료 전지는 발전을 허용하는 내부 반응의 일부로서 연료 전지의 캐소드 측으로부터의 CO_2 를 애노드 측으로 전달할 수 있다. 그러므로, 용융 카보네이트 연료 전지는 추가적인 전력을 전기 에너지의 형태로 제공할 수 있을 뿐만 아니라 메탄올 합성용 합성 가스 투입물로서 사용하기 위해 조정될 수 있는 애노드 배기 가스를 제공할 수 있다. 전력은 전형적으로 압축기, 펌프 및/또는 다른 시스템에 높은 효율로 전력을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 일부 양태에서, MCFC 시스템의 전체 크기는 필요한 현장 전력의 적어도 일부(또는 가능하게는 전부)를 제공하도록 설정될 수 있거나, 또는 임의적으로는 전력망을 위해 추가적인 전력을 발생시킬 수 있다. 현장에서의 전력의 발생은 전송 손실을 감소시키거나 최소화하기 때문에 더욱 효율적일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 전력은 임의적으로는 복수개의 전압 및 전류의 AD, DC 또는 이들의 혼합물로서 용이하게 제공될 수 있다. 이는 전기 효율을 더 낮출 수 있는 인버터 및/또는 다른 전력 전자장치에 대한 요구를 감소시키거나 가능하게는 없앨 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC 전력은 이질적인 멀리 떨어진 전력 공급원으로부터의 전력 발생과는 대조적으로, CO_2 가 포획될 수 있는 투입물 연료 물질로부터 발생될 수 있다. 이 전력은 합성 가스 생산 및 다양한 퍼지 스트림 또는 오프-가스 스트림의 가공으로 통합될 수 있는 방식으로 발생될 수 있다.
- [0067] MCFC 애노드로부터의 산출물 스트림은 비교적 더 낮은 농도의 CO 와 함께 비교적 높은 농도의 H_2 , CO_2 및 물을 함유할 수 있다. 분리, (역) 수성 가스 전화 반응, 및/또는 다른 편리한 메카니즘의 통합을 통해, 애노드 배기 가스 및/또는 애노드 배기 가스로부터 유래/회수되는 스트림의 조성을 조정할 수 있다. 조성의 조정은 과량의 물 및/또는 CO_2 의 제거, $H_2:CO$ 비의 조정, 모듈 값 M의 조정, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전형적인 MCFC 애노드 산출물은 전체 연료 이용률이 약 30% 내지 약 50%인 경우 약 4:1의 $H_2:CO$ 비를 가질 수 있다. CO_2 의 일부를 제거하기 위한 스테이지(예를 들어, 단순 극저온 분리)를 통해 애노드 배기 가스를 통과시키는 경우에는, "M" 값이 약 2에 근접할 때까지 CO_2 농도를 하향 조정할 수 있다. 이점으로서, 이 유형의 공정은 다른 공정에 사용될 수 있고/있거나 플랜트의 전체 CO_2 배출물을 낮추기 위해 제거될 수 있는 정제된 CO_2 스트림을 생성시킬 수 있다.
- [0068] 메탄올 합성과 용융 카보네이트 연료 전지를 통합시키기 위하여 다양한 구성 및 전략을 이용할 수 있다. 하나의 구성에서는, H_2O 및/또는 CO_2 의 분리 및/또는 수성 가스 전화 반응을 이용하여, 애노드 배기 가스의 M 값을 조정할 수 있고/있거나, 기체 스트림 같은 애노드 배기 가스의 일부를 애노드 배기 가스로부터 회수하여, 예컨대 목적하는 M 값에 더욱 근접할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 이용률을 감소시킴으로써 연료 전지에 의한 H_2 생산을 증가/최대화시킬 수 있어서, 예컨대 추가적인 H_2 스트림을 또한 애노드 배기 가스로부터 및/또는

회수되는 합성 가스 스트림으로부터 분리할 수 있다.

[0069]

전형적인 메탄올 플랜트에서는, 1회 통과당 낮은 전환율 때문에 메탄올 액체의 회수 후 반응기 배출가스의 대부분을 회수할 수 있다. 높은 재순환 양을 특징으로 하는 대부분의 구성에서와 같이, 공정에 불활성 물질(예컨대, 메탄)이 축적되면 비-반응성 성분이 풍부할 수 있는 퍼지 스트림을 상당량 필요로 할 수 있다. 기껏해야, 종래의 구성은 열 통합을 위해 퍼지 스트림을 연소시킬 수 있거나, 또는 더욱 가능하게는 퍼지 스트림을 환경으로 다 내보낼 수 있다. 이러한 유형의 종래의 구성에서는 메탄올 내로 혼입되지 않은 탄소가 전형적으로는 환경으로 다 내보내져서 높은 CO₂ 배출물을 야기할 수 있음에 주목한다.

[0070]

도 11은 메탄올 합성 공정과 MCFC를 통합할 수 있는 구성의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 11에 도시된 구성은 종래의 시스템의 결함중 하나 이상을 개선할 수 있다. 예를 들어, 일부 구성에서는, MCFC로부터의 고온의 산출물을 열 회수 증기 발생 공정(HRSG)으로 공급하여 MCFC로부터의 전기 산출물 이외에 전기를 생산할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 합성 가스의 M 값을 조정하는 공정은 CO₂가 풍부한 분리된 생성물을 야기할 수 있으며, 이 생성물을 연료 전지 캐소드로의 부분적인 재순환에 사용할 수 있고/있거나 정제하여 순도가 증가된 별도의 CO₂ 생성물을 생성시킬 수 있다.

[0071]

일부 구성에서는, 메탄올 합성 반응으로부터의 산출물을 액체 알콜 생성물, 재순환 합성 가스 스트림 및 배기되는 퍼지로 분리할 수 있다. 배기되는 퍼지는 합성 가스 성분, 연료 성분(예를 들어, 메탄) 및 불활성 물질을 함유할 수 있다. 배기되는 퍼지의 적어도 일부를 애노드 및/또는 캐소드 공급물 성분으로서 사용할 수 있다. 액체 알콜 생성물의 경우, 전형적으로는 수집된 액체 생성물을 증류 칼럼 같은 분리 시스템에 넣을 수 있는데, 여기에서는 정제된 메탄올을 회수할 수 있고, 바닥 생성물(예컨대, 고급 알콜 포함)을 페스트림으로서 생성시킬 수 있다. 종래의 시스템에서는, 배기되는 퍼지 스트림 및/또는 페스트림을 사용하여 합성 가스 생산을 가열하기 위하여 증기의 온도를 높일 수 있다. 종래 시스템에서의 이러한 사용은, 스트림(들)이 메탄올 합성 공정으로 재순환되는 경우, 부분적으로는 불활성 물질의 가능한 축적에 대한 우려에 기초할 수 있다. 대조적으로, 다양한 양태에서는, 메탄올 합성 공정의 임의의 부산물(예컨대, 배기되는 퍼지 및/또는 예를 들어 둘 이상의 탄소를 함유하는 중질 알콜)을 MCFC 시스템에 사용하여 더 많은 합성 가스를 생성시킬 수 있고/있거나 탄소 공급원으로서(연소 후) 사용하여 예컨대 캐소드용 CO₂를 생성시킬 수 있다. 개질될 수 없는, 캐소드 내로 도입된 불활성 물질(예컨대, 질소)은 다 내보낼 수 있는 한편, 과량의 연료 분자는 열 및 캐소드 내에서 용이하게 사용될 수 있는 CO₂로 전환할 수 있다. 그 결과, 메탄올 합성 공정과 MCFC의 통합은 메탄올 합성으로부터의 부수적인 생성물 스트림의 개선된 통합을 허용할 수 있는데, 왜냐하면 MCFC가 연료 성분의 사용을 허용할 뿐만 아니라 CO₂를 더 높은 농도의 산출물 스트림(예컨대, 애노드 배기 가스)으로 분리할 수 있으면서 불활성 물질의 과도한 축적을 피할 수 있기 때문이다.

[0072]

임의적으로는, 그러나 바람직하게는, 메탄올 합성과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합은 가스 터빈 같은 터빈과의 통합을 포함할 수 있다. 메탄올 합성이 적어도 일부의 CO₂를 유리하게 이용할 수 있기 때문에(M 값에서 보여지는 바와 같이), 연료 전지의 캐소드 입구용 CO₂의 외부 공급원을 갖는 것은 추가의 이점을 제공할 수 있다. 메탄올 합성은 다량의 전력을 필요로 할 수 있으며, 이 전력중 적어도 일부(또는 아마도 전부)가 MCFC 및/또는 가스 터빈에 의해 제공될 수 있다. MCFC에 의해 전력이 제공되는 경우에는, 장치의 적어도 일부(펌프 및 압축기)가 DC 전력 상에서 작동될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 가스 터빈이 사용되는 경우에는, 가스 터빈이 증기 발생을 허용할 수 있고, 터빈으로부터의 증기를 압축기 및 메탄올 재순환용 구전력으로서 사용할 수 있다. 통합된 시스템의 일례로서, 메탄 개질에 의해(및/또는 다른 개질가능한 연료의 개질에 의해) 애노드 입구의 투입물 스트림을 생성시킬 수 있다. 캐소드 입구용 CO₂는 함께 위치되는 터빈으로부터, 애노드 배기 가스로부터의 CO₂ 분리로부터, 및/또는 다른 공급원으로부터 유래될 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 CO₂를 재순환시키는 것과는 대조적으로, 가스 터빈 같은 공급원으로부터 캐소드 입구용 CO₂를 제공하면 가압/감압 사이클에 대한 필요를 없앨 수 있음에 주목한다. 추가로 또는 다르게는, 메탄올 합성 반응기로부터의 낮은 수준의 열을 MCFC의 전처리에서 예컨대 가습을 위해 사용할 수 있도록 열 통합을 이용할 수 있다.

[0073]

도 12는 메탄올 합성을 수행하기 위한 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예컨대, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 12에서, 용융 카보네이트 연료 전지(1210)는 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예컨대, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 개략적으로 나타낸다. 연료 전지(1210)로부터의 애노드 산출물(1215)을, 임의의 요구되는 순서대로, 아

래에 기재되는 바와 같이, 또한 도 1 및 도 2에 추가로 예시되는 바와 같이, CO₂, H₂O 및/또는 H₂ 분리 스테이지를 포함할 수 있는 하나 이상의 분리 스테이지(1220), 및 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킬 수 있다. 분리 스테이지는 CO₂ 산출물 스트림(1222), H₂O 산출물 스트림(1224) 및/또는 H₂ 산출물 스트림(1226)에 상응하는 하나 이상의 스트림을 생성시킬 수 있다. 몇몇 양태에서는, 합성 가스 산출물에서 M의 목적하는 값을 획득하기 위하여 연료 전지 작동 매개변수를 조정하는 까닭에, CO₂ 산출물 스트림(1222) 및 H₂ 산출물 스트림(1226)이 존재하지 않을 수 있음에 주목한다. 분리 스테이지는 메탄올 합성 스테이지(1230)용 투입물로서 사용하기에 적합한 합성 가스 산출물(1225)을 생성시킬 수 있다. 메탄올 합성 스테이지(1230)는 바로 사용될 수 있고/있거나 메탄올 대 올레핀 및/또는 메탄올 대 가솔린 반응 시스템 같은 다른 공정에서의 공급물로서 사용하는 것과 같이 추가적으로 가공될 수 있는 메탄올 생성물(1235)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 분리 스테이지(들)로부터의 CO₂ 산출물(1222)을 연료 전지(1210)의 캐소드용 투입물(도시되지 않음)의 적어도 일부로서 사용할 수 있다.

[0074]

애노드 배기 가스로부터 합성 가스 스트림을 생성 및/또는 회수하는 예로서, 한 양태에서는, 애노드로부터의 배출물 또는 배기 가스를 먼저 냉각시킨 다음 MeOH 합성 압력, 예컨대 약 700psig(약 4.8MPa) 내지 약 1400psig(약 9.7MPa)의 압력으로 가압할 수 있다. 합성 가스 스트림에 요구되는 M 값을 획득하기 위하여 예컨대 극저온 분리에 의해 CO₂를 분리하는 것은 이러한 압력에서 더욱 용이할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, M 비가 목적하는 값에서 벗어나는 경우, 예컨대 애노드 투입물 루프를 통해 과량의 합성 가스를 재순환(퍼지)시킴으로써 M 값을 조정할 수 있다. 몇몇 경우에, CO₂가 재순환 루프에 축적될 수 있고, 이를 (극저온) 분리 루프로 재순환시킬 수 있다.

[0075]

도 11은 MCFC 및 메탄올 합성 공정을 포함하는 통합 시스템의 다른 일례를 도시한다. 도 11에서, 이 구성은 예로서 통합된 MCFC-촉매적 반응기 시스템을 사용한 천연 가스/메탄의 메탄올로의 전환에 적합할 수 있다. 이 유형의 구성에서, MCFC는 메탄올 생산을 위해 촉매적 반응기로 공급될 수 있는 중간 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 전형적인 메탄올형 천연 가스 공정에서는, 자가열 반응기(ATR)에서 메탄 증기 개질에 의해 합성 가스를 발생시킬 수 있다. ATR로부터의 열을 회수하여, 공정의 나머지를 위해 전기 및 증기를 생성시킬 수 있다. 세 가지 상업적인 공정이 문헌[SRI Process Economics Program Report 49C on Methanol, 아패널(Apanel, George J.), Methanol-Report No. 39C, SRI Consulting, 2000년 3월 참조]에 기재되어 있다. 이 리포트로부터의 2단계 공정을 메탄올 합성 공정의 대표적인 예로서 이용할 수 있다. 이 2단계 공정을 본원에 기재된 시뮬레이션의 대조용으로서 이용하였다.

[0076]

도 11은 통합된 공정의 다이어그램을 도시한다. 전환 반응기로부터의 배기 가스(1101) 및 중질(C₂₊) 알콜 부산물(1102), 및 캐소드 배기 가스(1103)의 분획을 MCFC 캐소드 공급물 버너(1190)로 복귀시킬 수 있다. 공기(1104), 메탄(1105), 배기 가스(1101), 알콜 부산물(1102) 및 캐소드 배기 가스(1103)를 연소시켜 고온의 캐소드 공급물(1106)을 생성시킬 수 있다. 애노드 메탄 공급물(1107)을 미리 가열함으로써, 캐소드 공급물(1106)을 입구 작동 온도까지 냉각시킨 다음 캐소드에 공급할 수 있다. 애노드 (메탄) 공급물(1107) 및 증기(1108)를 애노드에 공급할 수 있다. MCFC(1130)는 CO₂가 고갈된 고온의 캐소드 배기 가스(1109) 및 주로 H₂/CO₂/CO 및 물을 함유할 수 있는 고온의 애노드 배기 가스(1110)를 생성시킬 수 있다. MCFC(1130)는 감소된 연료 이용률, 예컨대 약 50% 이하의 연료 이용률을 갖는 조건을 비롯한 다양한 조건하에서 실행될 수 있다. 부분적으로는 애노드 메탄 및/또는 다른 연료 공급물(1107)을 미리 가열함으로써 캐소드 배기 가스(1109)를 냉각시킨 다음, 열 회수 증기 발생 시스템(HRSG)(1162)으로 보내어 더 많은 열을 회수하고/하거나 공정용 증기의 온도를 높일 수 있다. 냉각된 캐소드 배기 가스(1124)를, 캐소드 공급물 버너로 재순환될 수 있는 스트림(1103) 및 대기로 배출되고/되거나 요구되는 경우(도시되지 않음) 추가로 처리될 수 있는 스트림(1121)으로 분할시킬 수 있다. (1121)에서의 잔여 열은 HRSG(1164)에서 회수될 수 있다. 애노드 배기 가스(1110)를 HRSG(1162) 같은 HRSG로 보낼 수 있다. 냉각된 애노드 배기 가스를 스트림(1111, 1112)으로 나누거나 분할시킬 수 있으며, 스트림(1111)은 수성 가스 전화 반응기(1140)로 공급하여 전화된 분할된 스트림(1113)을 형성시킨다. 전화된 분할된 스트림(1113)을 제 2의 분할된 스트림(1112)과 합치고 분리기(1150)로 보내어 여기에서 탈수시키고(1114) 약 2의 M을 갖는 합성 가스 스트림(1115) 및 주로 CO₂를 함유할 수 있는 나머지 스트림(1116)으로 분리할 수 있다. CO₂-함유 스트림(1116)을 압축시키고 사용하기 위해 판매하고/하거나 격리 설비로 보낼 수 있다. 합성 가스(1115)가 메탄올 전환 반응기 공급물에 요구되는 M 값을 가질 수 있도록 스트림(1111)과 스트림(1112) 사이의 분할을 결정할 수 있다. 합성 가스(1115)를 반응기 재순환 스트림(1117)과 합칠 수 있다. 합쳐진 스트림을 압축 및 가열한 후, 전

환 반응기(1170)로 공급하여 배출물(1118)을 형성시킬 수 있다. 배출물(1118)을 예컨대 플래쉬시켜 반응기 제 순환 스트림(1117)과 생성물 스트림(1119)을 회수할 수 있다. 또한 배기 가스(1101) 및 부산물로서 중질 알콜 부산물(2개 이상의 탄소 함유)도 생성시키면서, 메탄올(1123)을 생성물 스트림(1119)으로부터 회수할 수 있다.

[0077]

메탄올 전환 반응기에 필요한 합성 가스 공급물을 생성시키도록 MCFC 공정의 크기를 정할 수 있다. 이 예에서 제공되는 계산에서는, 선택된 대표적인 공정에 기초하여 약 2500톤/일(tpd) 메탄올 전환 반응기에서 합성 가스를 생성시키도록 MCFC의 크기를 정하였다. 질량 및 열 평형을 고려하여 수행된 계산에 기초하여, MCFC는 약 176MW를 생성시킬 수 있는 것으로 계산되었다. 공정 흐름에 관한 추가적인 세부사항은 도 13에 도시되어 있는데, 이 도면은 도 11의 구성 내에서의 유동의 조성을 보여준다. 각 칼럼의 상단에 있는 숫자는 도 11의 식별자에 상응한다. MCFC에 의해 발생하는 전력의 일부를 합성 가스 분리 및 압축에 사용할 수 있는 한편, 나머지를 공정의 다른 부분에서 사용하고/하거나 반출시킬 수 있다. 또한, 계산에 기초하여, MCFC 애노드 및 캐소드 배출물 스트림으로부터 회수된 열은 약 3146tpd 이상의 고압 증기를 발생시켰는데, 이 양은 계산에서 모델링한 대표적인 메탄올 합성 공정의 증기 및 가열 수요를 충족시키기에 충분하였다. MCFC를 포함하는 계산에 있어서, 자가열 개질에 수반되는 임의의 처리 시설은 MCFC가 합성 공정용 투입물을 제공할 수 있는지의 여부를 결정하는데 고려되지 않았음에 주목한다. 분리된 CO₂-함유 스트림(116)을 사용하기 위해 판매하고/하거나 격리시킬 수 있다는 가정하에, 도 11에 도시된 통합된 공정은 전통적인 공정과 비교하여 CO₂ 방출을 감소시키면서 천연 가스(메탄)로부터 메탄올을 생성하는 방법을 제공할 수 있다. 표 B는 도 11의 구성에 기초하여 계산된 감소된 CO₂ 방출량과 함께, 선택된 문헌의 대조용 구성으로부터 방출되는 것으로 계산된 CO₂의 양을 보여준다. 표 A에서의 기본 경우 계산에서는, 자가열 개질기로부터의 배기 및 천연 가스 보일러로부터의 배기 가스가 가장 큰 방출원인 것으로 가정하였다.

[0078]

[표 B]

	kg CO ₂ /kg 생성된 MeOH
2 스테이지 공정(기본 경우)	0.318
MCFC+2 스테이지 공정 전환 반응기	0.025

[0079]

[0080]

메탄올 합성 공정 동안 일부 다이메틸 에터(DME) 및 부탄올(C₄H₉OH)을 발생시킬 수 있음에 주목한다. 다이메틸 에터는 메탄올 합성 공정에서 발생하는 메탄올을 사용하여 생성시킬 수 있는 후속 생성물의 예일 수 있다. 더욱 일반적으로는, 메탄올을 사용하여 다이메틸 에터, 올레핀, 나프타 및/또는 디젤 같은 연료, 방향족 화합물, 및 다른 산업상 유용한 생성물뿐만 아니라 이들의 조합 같은 다양한 추가적인 생성물을 생성시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는 메탄올 합성 플랜트로부터의 산출물을 다른 생성물을 생성시키기 위한 추가적인 반응 시스템에 통과시키는 합성 공정과 MCFC를 통합시킬 수 있다. 이러한 통합은 메탄올 합성 공정과의 통합에 대해 상기 기재된 바와 같이 합성 가스 산출물을 제공하고/하거나 시스템용 전기를 제공하고/하거나 저가의 산출물 스트림을 취급하고/하거나 증가된 농도의 CO₂를 갖는 스트림을 분리해냄을 포함할 수 있다.

[0081]

질소-함유 중간체 및 최종 생성물의 생성과의 통합

[0082]

암모니아는 전형적으로 승온 및 승압에서 하버-보쉬(Haber-Bosch) 공정을 통해 H₂ 및 N₂로부터 제조될 수 있다. 통상적으로, 투입물은 a) 전형적으로 증기 메탄 개질, 수성 가스 전화, 물 제거, 및 메탄화를 통한 미량의 탄소 산화물의 메탄으로의 전환을 필요로 할 수 있는 다단계 공정으로부터 제조될 수 있는 정제된 H₂, 및 b) 전형적으로 압력 변동 흡착을 통해 공기로부터 유도될 수 있는 정제된 N₂일 수 있다. 공정은 복잡하고 에너지 집약적일 수 있으며, 공정 장치는 규모의 경제성을 매우 유리하게 이용할 수 있다. 용융 카보네이트 연료 전지를 이용한 암모니아 합성 공정은 종래의 공정에 비해 추가적인 전력 생산, 감소된 복잡성 및/또는 더욱 우수한 확장성을 비롯한(이들로 한정되지는 않음) 하나 이상의 이점을 제공할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 용융 카보네이트 연료 전지를 이용한 암모니아 합성 공정은 CO₂ 생산을 감소시키고/시키거나 다른 공정에 사용하기 위한 CO₂를 발생시키는 메카니즘을 제공할 수 있다.

[0083]

다양한 양태에서, MCFC 시스템은 산출물로서 합성 가스를 생성시킬 수 있다. 합성 가스는 제거되어야 하는 황 같은 임의의 불순물을 거의 함유하지 않을 수 있고, 합성 가스는 암모니아 합성을 위한 H₂의 공급원을 제공할 수

있다. 애노드 배기 가스를 먼저 수성 가스 전화 반응기에서 반응시켜, CO에 비해 H₂의 양을 최대화시킬 수 있다. 수성 가스 전화는 널리 공지되어 있는 반응이고, 전형적으로는 "고온"(약 300℃ 내지 약 500℃) 및 "저온"(약 100℃ 내지 약 300℃)에서, 더욱 빠른 반응 속도를 제공하는 더욱 고온의 촉매를 사용하고, 더 높은 출구 CO 함량을 사용하여 수행될 수 있는데, 저온 반응기가 후속하여 합성 가스를 추가로 전화시켜 더 높은 H₂ 농도를 만든다. 그 후, 기체를 하나 이상의 공정을 통해 분리시켜 H₂를 정제시킬 수 있다. 이는 예를 들어 물의 응축, CO₂의 제거, H₂의 정제, 및 승압(전형적으로는 약 15바g 내지 약 30바g, 또는 약 1.5MPa 내지 약 3MPa)에서의 최종 메탄화 단계를 포함하여, 가능한 많은 이산화탄소가 제거될 수 있도록 할 수 있다. 종래의 암모니아 공정에서, 물, CO₂, 및 H₂ 스트림의 정제 동안 생성되는 메탄 스트림뿐만 아니라 암모니아 합성 공정으로부터의 추가적인 오프-가스는 매우 저가의 펄스트림을 나타낼 수 있다. 대조적으로, 일부 양태에서, 다양한 "페"가스는 가능하게는 추가적인 공정에 유용할 수 있는 또 다른 스트림을 생성시키면서 MCFC-암모니아 시스템의 다른 부분에서 사용될 수 있는 스트림을 형성시킬 수 있다. 마지막으로, H₂ 스트림을 약 60바g(약 6MPa) 내지 약 180바g(약 18MPa)의 암모니아 합성 조건으로 압축시킬 수 있다. 전형적인 암모니아 공정은 약 350℃ 내지 약 500℃, 예컨대 약 456℃ 이하에서 수행할 수 있고, 1회 통과당 낮은 전환율(전형적으로는 약 20% 미만) 및 큰 재순환 스트림을 생성시킬 수 있다.

[0084]

암모니아 합성과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합의 일례로서, 애노드 입구로의 연료 스트림은 (임의적으로는, 그러나 바람직하게는) H₂, CH₄(또는 다른 개질가능한 탄화수소) 및/또는 CO를 함유할 수 있는 암모니아 합성 공정으로부터의 재순환 오프-가스와 함께 개질가능한 연료 및/또는 H₂의 새로운 공급원에 상응할 수 있다. 암모니아 가공은 큰 재순환 비 및 회석제의 존재(예컨대, 탄소 산화물을 모두 제거하기 위하여 메탄화에 의해 생성된 메탄)로 인해 상당한 퍼지 스트림 및 펄스트림을 생성시킬 수 있다. 이들 스트림이 산소 같은 반응성 산화제를 함유하지 않는 한, 이들 스트림중 대부분은 연료 전지 애노드 입구 스트림과 양립가능하다. 애노드 입구 스트림은 추가로 또는 다르게는 수소 정제로부터의 분리 기체를 포함할 수 있는데, 왜냐하면 이들 기체가 전형적으로 H₂, CO, CO₂, H₂O, 및 가능하게는 애노드와 양립가능한 다른 기체를 포함하는 혼합물을 함유할 수 있기 때문이다. 이어, 애노드 배기 가스를 수성 가스 전화 반응 및 H₂ 분리를 이용하여 처리함으로써 고순도 H₂ 스트림을 형성시킬 수 있다. 이러한 H₂ 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성 공정의 투입물로서 사용할 수 있다. 임의적으로는, 고순도 H₂ 스트림 상에서 분리를 수행하는 것 이외에, 암모니아 합성에 사용하기 전에 H₂ 스트림을 메탄화기를 통해 통과시킬 수 있다. 하나 이상의 분리 및/또는 정제의 목적은 H₂ 스트림의 순도를 증가시켜 증가된 순도를 갖는 H₂ 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성의 투입물로서 사용할 수 있게 하는 것일 수 있다.

[0085]

캐소드 입구 스트림의 경우, 같이 위치된 외부 CO₂ 공급원(예를 들어, 가스-터빈 및/또는 보일러 배기 가스 스트림), 애노드 배기 가스로부터 분리된 재순환된 CO₂, 캐소드 배기 가스로부터의 재순환된 CO₂ 및/또는 O₂, 수소 정제의 일부로서 분리된 탄소 함유 스트림, 및/또는 암모니아 합성 플랜트의 산출물로부터 분리된 CO₂ 같은 임의의 편리한 공급원으로부터 CO₂ 및 O₂를 제공할 수 있다. 전형적으로는, 이들 스트림의 혼합물을 유리하게 사용할 수 있고, 스트림중 임의의 잔류 열량값을 사용하여 예컨대 캐소드 입구 스트림 온도를 MCFC 입구 온도까지 상승시키기 위한 열을 제공할 수 있다. 예를 들어, 분리 및/또는 암모니아 공정으로부터의 오프-가스인 연료 스트림을 충분한 산화제(공기)와 혼합하여, 카보네이트 이온을 형성하기 위해 캐소드에서 CO₂와 반응하기에 충분한 산소를 또한 제공하면서 실질적으로 모든 잔류 연료 성분을 연소시킬 수 있다. 캐소드 배기 가스 스트림은 감소된 CO₂ 및 O₂ 농도를 가질 수 있는데, 왜냐하면 이들 기체는 반응하여 애노드 스트림으로 수송될 수 있는 카보네이트를 형성할 수 있기 때문이다. MCFC가 캐소드 입구 스트림의 CO₂ 및 O₂ 함량을 감소시킬 수 있기 때문에, 캐소드 배기 가스는 공기에 비해 건조 기준으로 향상된 질소 농도를 가질 수 있다. CO₂를 효과적으로 분리하도록 디자인된 시스템의 경우, 캐소드 배기 가스는 건조 기준으로 약 10% 미만, 또는 약 5% 미만, 또는 약 1% 미만의 CO₂ 농도를 가질 수 있다. 산소 함량은 추가로 또는 다르게는 건조 기준으로 약 15% 미만, 또는 약 10% 미만, 또는 약 5% 미만일 수 있다. N₂ 농도는 전형적으로는 건조 기준으로 약 80% 또는 약 85%를 초과할 수 있거나 또는 약 90%보다 클 수 있다. 이 스트림의 열량값을 포획한(예를 들어, 열에 대한 증기 발생, 다

른 공정 스트림과의 열 교환, 및/또는 추가적인 전기를 통해) 후, 임의적으로는 그러나 유리하게는 캐소드 배기 가스를 사용하여 암모니아 합성에 사용하기 위한 고순도 N_2 스트림을 형성시킬 수 있다. 순수한 질소를 생성시키기 위한 전형적인 임의의 분리 방법을 이 스트림 상에서 더욱 효율적으로 작동시킬 수 있다. 임의적으로는, 증가된 순도의 N_2 스트림을 생성시키기 위하여 하나 이상의 분리 공정 또는 정제 공정을 N_2 스트림 상에서 수행할 수 있다. 증가된 순도를 갖는 N_2 의 적어도 일부를 임의적으로는 그러나 유리하게는 암모니아 합성용 투입물로서 사용할 수 있다. 작동 동안, 수소(및/또는 합성 가스)생성에 비해 더 적거나 많은 양의 선택된 전기 생산 같은 암모니아 합성의 조건에 매치되도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0086]

종래의 시스템(예컨대, 미국 특허 제 5,169,717 호에 기재된 것과 같음)에 비해, 상기 통합 방법은 정제된 H_2 및 N_2 투입물 스트림을 생성시키기 위한 별도의 전처리 시스템에 대한 필요성을 감소시키거나 없앨 수 있다. 예를 들면, 전용 증기 개질기 및 후속 세정 스테이지를 갖는 대신, 충분한 양의 개질가능한 연료를 개질시켜 전력을 생산하면서 정제된 H_2 를 제공하도록 MCFC를 작동시킬 수 있다. 전형적으로는, 통상적인 것보다 더 낮은 연료 이용률로 연료 전지를 작동시킴으로써 이를 수행할 수 있다. 예를 들어, 연료 이용률은 약 70% 미만, 예를 들어 약 60% 미만, 또는 약 50% 미만, 또는 약 40% 미만일 수 있다. 종래의 MCFC 작동에서는, 약 70 내지 80%의 연료 이용률이 전형적일 수 있고, 애노드에 의해 생성된 잔류 합성 가스를 캐소드 및/또는 애노드로 들어가는 스트림을 가열하기 위한 연료로서 사용할 수 있다. 종래의 작동에서는, 또한 애노드 배기 가스 스트림을 사용하여 공기와 반응한 후 CO_2 를 캐소드에 제공할 필요가 있을 수 있다. 대조적으로, 일부 양태에서는, 단순한 연소 및 재순환을 위해 애노드 배기 가스로부터의 합성 가스를 사용할 필요가 없다. 암모니아 합성 공정은 사용될 수 있는 다수의 펄스 스트림 또는 퍼지 스트림을 제공하여, 암모니아 합성에 이용가능한 합성 가스의 양을 최대화할 수 있다. 유사하게, 상기 나타난 바와 같이, MCFC로부터의 캐소드 배기 가스는 정제된 N_2 스트림을 형성하기 위한 더 높은 순도의 최초 스트림을 제공할 수 있다. MCFC 및 수반되는 분리 스테이지에서 암모니아를 합성하기 위한 투입물 스트림의 생성을 집중시키면 장치가 차지하는 공간을 감소시킬 뿐만 아니라 다양한 공정에 대해 개선된 열 통합을 제공할 수 있다.

[0087]

우레아는 CO_2 와 암모니아의 반응에 의해 제조될 수 있는 다른 큰 화학적 생성물이다. 1922년에 개발된 기본 공정은 발견자를 따라 보쉬-마이어(Bosch-Meiser) 우레아 공정으로도 불린다. 다양한 우레아 공정은 우레아 형성이 이루어지는 조건 및 미전환 반응물을 추가로 처리하는 방식에 의해 특징지어질 수 있다. 공정은 2개의 주요 평형상태 반응(반응물이 불완전하게 전환됨)으로 구성될 수 있다. 반응의 순 열 평형은 발열성일 수 있다. 제 1 평형상태 반응은 암모늄 카바메이트($H_2N-COONH_4$)를 형성하기 위한 액체 암모니아와 드라이 아이스(고체 CO_2)의 발열 반응일 수 있다:

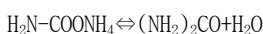
[0088]



[0089]

제 2 평형상태 반응은 암모늄 카바메이트의 우레아 및 물로의 흡열성 분해일 수 있다:

[0090]



[0091]

우레아 공정은 공정 투입물로서 고압의 액화된 암모니아 및 CO_2 를 사용할 수 있다. 종래 기술의 공정에서는, 이산화탄소가 외부 자원으로부터 전형적으로 제공되며, 고압으로 압축되어야 한다. 대조적으로, 도 6에 도시된 본 공정은 암모니아 합성 반응으로부터의 액체 암모니아 생성물과의 반응에 적합한 고압 액화 이산화탄소 스트림을 생성시킬 수 있다.

[0092]

다양한 양태에서는, 다수의 별도의 시스템을 필요로 하지 않으면서 하나 이상의 투입물(예컨대, 전기, 열, CO_2 , NH_3 , H_2O)을 제공하고/하거나 MCFC로부터의 하나 이상의 산출물(예컨대, H_2O , 열)을 받아들임으로써 우레아 생성을 개선할 수 있다. 또한, 실질적인 생성물 제거 및 재순환을 포함하는 대부분의 평형상태 공정에서와 같이, 퍼지 스트림 또는 펄스 스트림을 생성시킬 수 있다. 이들 퍼지 스트림 또는 펄스 스트림은 부반응 및 재순환 루프 내에서의 불순물 축적의 결과일 수 있다. 전형적인 독립(stand-alone) 플랜트에서, 이들 스트림은 흔히 저가될 수 있고, 가능하게는 재순환을 위해 추가적인 공정 및 장치를 사용하는 추가적인 정제를 필요로 할 수 있다. 대조적으로, 다양한 양태에서는, 퍼지 스트림 또는 펄스 스트림을 유리하게 또한 훨씬 더 간단한 방식으로 사용할 수 있다. 애노드 입구는 임의의 개질가능한 연료 및/또는 합성 가스 조성물을 소비할 수 있다. 연소될 수 있는 물질, 예를 들어 암모니아 같은 질소 화합물로 희석되는 스트림을 공기와 반응시켜, 나머지 CO_2 , CO 및 H_2 를

함유하는 임의의 스트림과 함께 캐소드 입구 스트림의 일부로서 사용될 수 있는 N_2 , 물 및 열을 생성시킬 수 있다. MCFC 시스템이 전형적으로 저압(약 10바g 또는 약 1MPa, 흔히 대기압 근처의 조건)에서 작동될 수 있기 때문에, 퍼지 스트림 또는 펄스 스트림중 임의의 스트림을 재압축할 필요가 감소되거나 최소화될 수 있는데, 왜냐하면 이들 공정 스트림이 MCFC 용도에 충분히 가압될 수 있기 때문이다.

[0093]

또한, 우레아 공정을 암모니아 합성 공정과의 복합 시스템으로 통합시킬 수 있다. 이들 통합된 접근법은 암모니아 플랜트(증기 개질기, 수성 가스 전화, H_2 를 생성시키기 위한 압력 변동 흡착 + 공기 분리 플랜트) 및 전형적으로는 멀리서 제조되어 플랜트로 수송되는 별도의 저온 CO_2 (드라이 아이스) 공급원을 필요로 할 수 있는 종래의 접근법으로부터 다수의 공정을 감소시키거나 없앨 수 있다. 본 시스템은 이들 공정중 다수를 없앨 수 있고, 고압에서 CO_2 스트림을 분리할 수 있기 때문에 유리한 조건에서 필요한 반응물을 제공할 수 있다. 구체적으로는, 먼 거리의 우레아 플랜트에서 사용하기 위해 CO_2 를 드라이 아이스로서 수송하기보다는, 액화된 형태의 MCFC 애노드 배기 가스로부터 유도된 스트림을 분리함으로써 이산화탄소를 제공할 수 있고 따라서 용이하게 적절한 반응 압력까지 압축시킬 수 있다. 이는 CO_2 의 냉각, 수송 및 재압축에서의 상당한 에너지 비효율성을 피할 수 있다.

[0094]

상기 기재된 바와 같이, 추가적인 장치의 양을 감소시키거나 최소화하면서 MCFC를 암모니아 생산용 암모니아 플랜트와 통합시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC 시스템으로부터의 애노드 배기 가스 상에서 분리를 수행하여 CO_2 의 공급원을 제공할 수 있다. 이 CO_2 공급원을 추가로 분리 및/또는 정제하여 CO_2 의 적어도 일부가 우레아 합성 공정에 사용될 수 있도록 할 수 있다. 예를 들면, 극저온 분리를 포함하는 공정을 이용하여 CO_2 분리를 수행할 수 있다. 이는 저온 CO_2 의 별도의 생산 및/또는 수송의 필요성을 감소시키거나 없앨 수 있다. 또한 또는 다르게는, MCFC 시스템은 MCFC 투입물/산출물 스트림과의 열 교환에 의해 및/또는 분리 시스템과의 열 교환에 의해 전력을 제공할 수 있고/있거나 열을 제공 또는 소비할 수 있다.

[0095]

도 16은 암모니아 합성 및/또는 우레아 합성을 수행하기 위한 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예를 들어, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 16에서, 용융 카보네이트 연료 전지(1610)는 연료 전지에 수반된 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예컨대, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 개략적으로 나타낼 수 있다. 연료 전지(1610)는 개질가능한 연료 스트림 같은 애노드 투입물 스트림(1605) 및 CO_2 -함유 캐소드 투입물 스트림(1609)을 받아들일 수 있다. 도 16에서, 애노드 투입물 스트림(1605)은 암모니아 합성 공정(1640)에 의해 생성된 오프-가스의 임의적으로 재순환된 부분(1647)을 포함할 수 있다. 도 16에서, 캐소드 투입물 스트림(1609)은 분리 스테이지(1620)에서 연료 전지(1610)의 애노드 및/또는 캐소드 산출물로부터 분리되는 CO_2 의 임의적으로 재순환된 부분(1629)을 포함할 수 있다. 이어, 연료 전지(1610)로부터의 애노드 산출물(1615)을 임의의 목적하는 순서대로, 아래에 기재되는 바와 같이, 또한 도 1 및 도 2에서 추가로 예시되는 바와 같이, CO_2 , H_2O 및/또는 H_2 분리 스테이지를 포함할 수 있는 하나 이상의 분리 스테이지(1620), 및 임의적으로는 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킬 수 있다. 분리 스테이지는 CO_2 산출물 스트림(1622), H_2O 산출물 스트림(1624), 및 고순도 H_2 산출물 스트림(1626)에 상응하는 하나 이상의 스트림을 생성시킬 수 있다. 분리 스테이지는 또한 임의적인 합성 가스 산출물(1625)을 생성시킬 수 있다. 캐소드 산출물(1616)을 하나 이상의 분리 스테이지(1620)에 통과시킬 수 있다. 전형적으로는, 캐소드 산출물에 사용되는 분리 스테이지(들)는 애노드 산출물용 분리 스테이지(들)와는 상이할 수 있으나, 도 16에 도시된 바와 같이 분리로부터 생성되는 스트림을 임의적으로 합칠 수 있다. 예를 들면, CO_2 를 캐소드 산출물(1616)로부터 분리하고 하나 이상의 CO_2 산출물 스트림(1622)에 첨가할 수 있다. 캐소드 산출물(1616)로부터 분리된 가장 큰 생성물은 고순도 N_2 스트림(1641)일 수 있다. 고순도 H_2 산출물 스트림(1626) 및 고순도 N_2 스트림(1641)을 암모니아 합성 스테이지(1640)용 반응물로서 사용하여 암모니아 산출물 스트림(1645)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 암모니아 산출물 스트림의 일부를 분리 스테이지(1620)로부터의 CO_2 스트림(들)(1622)과 함께 우레아 생산(1650)용 투입물(1651)로서 사용하여 우레아 산출물(1655)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로, 우레아 생산(1650)을 위한 투입 암모니아 스트림(1651)은 상이한 공급원으로부터 제공될 수 있다. 임의적으로는, 암모니아 생산 스테이지(1640) 또는 우레아 생산 스테이지(1650)를 구성으로부터 뺄 수 있다.

[0096]

발효에 의한 생물 연료 및 화합물의 생성과의 통합

- [0097] 생물 연료 또는 생물 화합물은 흔히 옥수수 같은 곡물, 당, 또는 에너지 그래스(energy grass) 같은 리그노셀룰로오스 물질로부터 유도되는 탄수화물의 발효 공정에 의해 생성될 수 있다. 이 공정의 가장 통상적인 예는 예컨대 옥수수로부터의 에탄올 제조를 포함한다. 이 공정은 전형적으로 열(증류를 위해), 전기(일반적인 플랜트 작동을 위해), 및 물(원료 물질 가공, 세정 및 다른 공정을 위해)의 투입을 필요로 할 수 있고, 표준 생성물 이외에 CO₂를 생성시킬 수 있다. CO₂는 당(C₆H₁₂O₆)이 2개의 C₂H₅OH(에탄올)+2개의 CO₂로 전환될 수 있는 발효 반응을 통해 생성될 수 있다. 부탄올, 고급 알콜, 다른 산소화물 등과 같은 다른 생성물로의 발효는 유사한 생성물을 생성시킬 수 있고 유사한 투입물을 필요로 할 수 있다. 온실 가스 배출 및 플랜트의 전체적인 경제성은 모두 이들 투입물 및 산출물을 생성하고/시키거나 제공함에 있어서의 효율성에 의해 영향을 받을 수 있다. 탄수화물 또는 당의 다른 공급원도 유사한 공정을 거쳐 목적하는 생물 생성물을 생성시킬 수 있고, 원래의 탄수화물을 당으로 일부 전환시킬 수 있다.
- [0098] 다양한 양태에서, 개질가능한 연료로서 천연 가스를 사용하는 MCFC 시스템 같은 MCFC 시스템과 에탄올 제조의 조합은 다양한 이점을 제공할 수 있다. 이는 부분적으로는 MCFC 시스템이 에탄올 플랜트로부터의 CO₂ 산출물을 소비하면서 필요한 투입물을 본질적으로 모두 제공할 수 있다는 사실에 기인할 수 있다. 이는 온실 가스 배출을 낮추고/낮추거나 물 요구량을 감소시키고/시키거나 전체 효율을 증가시킬 수 있다.
- [0099] 에탄올 플랜트는 작동에 전력을 제공하는데 MCFC로부터의 전기를 사용할 수 있고, MCFC로부터의 잔류 열을 사용하여 증류 같은 공정을 가열할 수 있다. 플랜트의 정확한 조건(열 대 전기의 혼합)은, MCFC 플랜트의 전체 연료 이용률을 조정함으로써, 예를 들어 매질로서 추가의 수소/합성 가스를 생성시켜 전기 산출물에 비해 더 많거나 더 적은 열을 제공함으로써, 관리될 수 있다. 다르게는 또한 추가로, MCFC로의 연료 공급원을 조정하여, 예컨대 애노드 공급물로서 발효 생성물중 일부를 사용함으로써 및/또는 열 및/또는 비-발효성 생물질 같은 관련 투입물로부터의 생성물을 투입물로서 사용함으로써, 소정 플랜트 구성 및 소정 투입물 세트에 대해 투입물과 산출물의 균형을 맞출 수 있다. 전기화학 공정은 전형적으로 카보네이트 이온과 수소의 반응에 의해 물을 생성시킬 수 있고; 상기 물을 애노드 출구로부터 응축시킬 수 있다. 예컨대 수성 가스 전화 반응을 통해 과량의 합성 가스를 생성함에 있어서 추가적인 물을 생성시킬 수 있다. 이어, 물을 플랜트에서 가공수로서 사용할 수 있는데, 왜냐하면 물은 매우 순수하고 오히려 불순물을 함유하지 않는 경향이 있기 때문이다. 예시적인 물 사용은 분쇄된 옥수수에 물을 첨가할 수 있는 건식 밀링 공정 및/또는 옥수수를 산과 물의 용액에 침지시킬 수 있는 습식 밀링 공정을 포함하지만, 이들로 한정되지는 않는다. 발효 CO₂ 산출물을 캐소드 투입물로서 사용할 수 있고, 필요한 경우 애노드 출구 CO₂의 재순환에 의해 및/또는 추가적인 열을 높이기 위한 새로운 연료(메탄 및/또는 천연 가스)의 연소를 통해 보충될 수 있다. 에탄올 플랜트에서의 모든 가열 공정이 전형적으로는 비교적 저온에서 이루어지기(예컨대, 증류 <100℃) 때문에, MCFC 시스템의 거의 모든 폐열을 효율적으로 소비할 수 있다.
- [0100] 특정 플랜트 구성 및 공급 원료에 따라 MCFC 투입물 및 산출물에 대해 상이한 구성의 세트를 이용할 수 있다. 일부 구성에서, 이 공정은 애노드 투입물 연료로서 물과 혼합된 에탄올 생성물을 사용할 수 있고, 따라서 요구되는 천연 가스의 양을 피하거나 감소시킬 수 있다. 발효에서 제조되는 에탄올을 예컨대 약 1H₂O:1EtOH 내지 약 4:1, 예를 들어 약 1.5:1 내지 약 3:1, 또는 약 2:1의 물비까지 부분적으로 증류, 분리 또는 추출할 수 있다. 이 혼합물을 연료 전지 내에서 및/또는 외부에서 열로 개질시켜 애노드로 투입될 수 있는 수소 기체를 포함하는 혼합물을 생성시킬 수 있다. 에탄올의 전체 플랜트 산출물을 감소시킬 수 있는 한편, 생물에 기초하지 않은 투입물의 양을 공정으로부터 감소시키거나 없애서 더 낮은 라이프-사이클 CO₂ 배출을 야기할 수 있다.
- [0101] 일부 구성에서는, 옥수수대, 목재 및/또는 당 바가스 같은 리그닌 공급원을 연소시켜 메탄 같은 전통적인 탄화수소 연료의 투입물을 보충하고/하거나 대체할 수 있다. 이는 플랜트가 에너지 면에서 자족하게 할 수 있고, 라이프 사이클 배출물을 불러일으킬 수 있는 공급 연쇄로 통합될 필요성을 감소시킬 수 있다. 이들 구성에서, 리그닌 공급원은 열을 생성시킬 수 있고, 합성 가스를 포함하는 기상 혼합물로 부분적으로 산화되는 경우, 합성 가스를 MCFC 시스템으로의 투입물로서 사용할 수 있다. 리그닌 공급원을 연소시키고 사용하여 (증기 생성 및 증기 터빈을 통해) 일부 전기를 제공할 수 있는 한편, 공정으로부터의 배기 가스는 MCFC 시스템으로의 CO₂ 투입물을 제공할 수 있다.
- [0102] 일부 구성에서는, 애노드 산출물 합성 가스 혼합물로부터 CO₂를 분리함으로써 캐소드 입구용 투입물 CO₂를 유도할 수 있다. 스트림을 사용하여 다양한 공정(증기 생성을 통한 추가적인 발전 포함)용 열을 생성시키기 전 또

는 후에, 및/또는 스트림을 사용하여 공정에 수소를 제공하고/하거나 열을 제공할 수 있기 전 또는 후에 이 분리가 이루어질 수 있다. 전형적으로는, CO₂를 포획하는 것이 바람직할 수 있는 경우에 이 유형의 접근법을 이용할 수 있다. 예를 들어, 애노드 출구 스트림을 CO₂ 분리 스테이지에 통과시킬 수 있으며 여기에서 대부분의 CO₂를 포획할 수 있고 잔류 합성 가스를 열, 전기 및/또는 화학 공정에 사용할 수 있다. 이들 공정으로부터의 산출물을 잠재적으로 첨가되는 메탄 및/또는 산화제(공기)와 함께 캐소드로 복귀시켜, 적절한 온도 및 기체 조성을 갖는 캐소드 입구 스트림을 제공할 수 있다.

[0103]

다르게는, CO₂ 포획이 요구되지 않을 수 있는 몇몇 구성에서는, 발효 시스템으로부터의 CO₂ 산출물을, 산화제(공기)와 혼합되고 적절한 입구 온도까지 상승되는 경우 캐소드용 CO₂ 공급원의 적어도 일부(전체가 아닌 경우)로서 사용할 수 있다. 이들 구성에서는, 애노드 산출물을 열, 전기 및/또는 화학적 목적으로 사용할 수 있으며, 연소된 합성 가스를 함유하는 생성된 최종 스트림을 배기시키고/시키거나 공급물로서 캐소드 입구로 부분적으로 복귀시킬 수 있다. 플랜트 구성 및 CO₂ 배출에 대한 조건에 따라 이들 구성중 임의의 하나 또는 조합이 바람직할 수 있다. 예를 들면, 발효로부터의 일부 CO₂를, 다양한 열, 전기 및/또는 화학적 공정에 사용한 후 잔류 합성 가스 스트림과 합칠 수 있고, 합쳐진 스트림을 산화제(공기)와 반응시켜 캐소드에 산소를 제공하고 캐소드 입구 스트림의 온도를 높일 수 있다.

[0104]

다양하고 상이한 목적을 위해 MCFC로부터의 애노드 출구 스트림을 사용할 수 있다. 한 구성에서는, 이 스트림을 사용하여 증류를 위한 열을 제공할 수 있고, 애노드 출구에서 잔류 합성 가스의 연소를 포함하여 증류 공정을 위한 추가적인 열을 높일 수 있다. 이 구성에서는, 산화제(공기)를 출구 스트림에 첨가할 수 있고, 열 및 연소 열에 감수성인 스트림을 전형적으로 사용하여 증류를 위해 에너지를 제공하는데 사용될 수 있는 증기를 가온시킬 수 있다. 임의적으로는, 발효 공정에 첨가하거나 첨가하지 않는 이 공정으로부터의 배기 가스를 CO₂중 일부의 임의적인 분리 전 및/또는 후에 캐소드 입구 스트림으로서 사용할 수 있다.

[0105]

일부 구성에서는, 애노드 출구 기체를 추가 가공 없이, 전화 반응 후에, 및/또는 수소 공급원으로서 일부 CO₂의 분리 후에 수소의 공급원으로서 사용할 수 있다. 수소는 다양한 목적으로 사용할 수 있다. 이들 공정은 수소 터빈에서의 연소에 의해 탄소를 거의 함유하지 않는 추가적인 전기의 생산을 포함할 수 있지만 이것으로 한정되지는 않는다. 추가로 또는 다르게는, 다른 생물 연료 생성물을 처리하는 것과 같은 화학적 공정에 수소를 사용할 수 있다. 예를 들어, 발효에 적합하지 않은 리그노셀룰로즈 물질(예를 들어, 옥수수대 및/또는 당 바가스)을 열 분해 같은 열화학적 공정에 가하여 연료에 사용하기 부적합한 불안정한 고 산소 생성물을 생성시킬 수 있다. 열분해, 신속 열분해 및/또는 가수소 열분해 같은 다양한 공정을 이용할 수 있는데, 이들 공정중 임의의 하나 또는 모두는 촉매를 사용하여 또는 촉매 없이 수행될 수 있다. 전형적으로, 이들 생성물은 생물 발열량을 감소시킬 수 있고 흔히 저장, 수송 및 사용시 안정성을 크게 감소시킬 수 있는 잔류 산소를 함유할 수 있다. 이들 유형의 생성물을 유리하게는 수소로 처리하여, 임의적으로 발효 생성물과 블렌딩하여 생물 연료의 전체적인 생성을 증가시킬 수 있는 연료 상용성 블렌드 원료(열분해 오일)를 생성시킬 수 있다.

[0106]

수소의 다른 용도는 생물 디젤 물질의 동시 생산일 수 있다. 전형적으로는, 전분 공급원(예컨대, 옥수수, 당)을 사용하여 가솔린 연료에 사용하기 위한 에탄올을 제조할 수 있는 한편, 대두 또는 팥 같은 "오일"(예를 들어, 트라이-아실 글라이세라이드)이 많은 다른 작물을 사용하여 그 자체로 및/또는 업그レード 후 디젤 연료 및/또는 제트 연료에 적합할 수 있는 장쇄 분자를 생성시킬 수 있다. 다른 재생가능한 자원은 그 자체로 및/또는 업그レード 후에 윤활유, 및/또는 벙커/해양 연료 및/또는 가정용 난방유 같은 더욱 중질의 연료에 적합할 수 있는 더욱 장쇄의 분자를 함유할 수 있다. 이들 물질은 전형적으로 특히 목적하는 생성물이 예컨대 지방산 메틸 에스터(FAME) 생성물 대신 가수소 처리된 식물유인 경우에서와 같이 산소를 거의 함유하지 않는 경우 수소를 포함하는 일부 가공을 필요로 할 수 있다. 생물 연료 생성물 및 작물이 거의 같은 장소에 위치할 수 있기 때문에, 수소의 이용가능성은 다양한 가공 체제에 도움을 줄 수 있다.

[0107]

일부 양태에서, 통합된 MCFC 및 발효 시스템의 목적은 발효 플랜트로부터의 전체적인 CO₂ 생산을 감소시키거나 최소화하는 것일 수 있다. 이러한 시스템의 일례에서, 생물질 공급물은 발효 플랜트에 들어가서 임의적인 공정(예를 들어, 분쇄, 수처리)을 거친 후에 발효에 필요한 물질을 생성시킬 수 있다. 공정의 전기 에너지 및 물은 연료 전지 산출물에 의해 적어도 부분적으로(전부가 아니라면) 제공될 수 있다. 발효 공정은 생물 연료와 부수적인 생성물(예컨대, 증류기의 무수 입자), 및 비교적 다량의 CO₂를 포함하는 기체 스트림을 생성시킬 수 있다. 적절한 양의 물과 혼합된 발효 플랜트로부터의 생물 연료 생성물을 MCFC로의 애노드 투입물 연료로서 사용할 수

있다. 양태에 따라, 생물 연료 생성물은 발효 생성물의 적어도 일부, 생물 가스 또는 발효의 잔류 또는 부수적인 생성물로부터 유도되는 다른 연료의 적어도 일부, 또는 이들의 조합에 상응할 수 있다. MCFC 애노드 출구로부터의 합성 가스를 연소시켜 증류를 비롯한 모든 플랜트 공정에 적어도 약간의(요구되는 전부가 아닌 경우) 열을 제공할 수 있다. CO₂ 분리 공정 전 및/또는 후에 애노드 출구 생성물을 사용할 수 있다. 다르게는, 애노드 출구 스트림중 일부를 사용하여 발효 플랜트 공정에 적어도 일부의 열을 제공할 수 있는 한편, 제 2 스트림을 사용하여 캐소드 투입물 스트림을 예열하는 것과 같이 상이한 목적으로 열을 제공할 수 있도록, 애노드 출구 스트림을 분할할 수 있다. 생성된 CO₂ 함유 스트림중 일부를 공기와 합치고, 캐소드 입구 스트림으로서 사용할 수 있다. 전체 공정은 유리하게는 외부 에너지 공급원을 사용하지 않을 수 있고, 전형적으로는 생물학적 공정으로부터만 유도된 CO₂를 방출시킬 수 있다. 다르게는, 애노드 후에 및/또는 모든 CO₂ 스트림이 합쳐진 후에와 같이 하나 이상의 임의의 다양한 시점에 CO₂ 분리 체제를 첨가할 수 있다. 이 스테이지는 격리를 위해 및/또는 몇몇 다른 용도를 위해 실질적으로 순수한 CO₂ 산출물 스트림을 제공할 수 있다. 이 구성에서, 라이프 사이클 기준으로부터의 전체 플랜트 CO₂ 배출은 음(생성된 제로 순 CO₂ 미만)일 수 있는데, 왜냐하면 생물학적으로 유도된 CO₂를 비례적으로 더 적은 외부 탄소계 연료 투입물(없이) 격리를 위해 제거할 수 있기 때문이다.

[0108]

도 15는 에탄올 합성 같은 알콜 합성을 수행하기 위한 반응 시스템과 용융 카보네이트 연료 전지(예를 들어, 용융 카보네이트 연료 전지의 어레이)의 통합의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 15에서, 용융 카보네이트 연료 전지(1510)는 연료 전지에 수반되는 개질 스테이지와 함께 하나 이상의 연료 전지(예컨대, 연료 전지 스택 또는 연료 전지 어레이)를 나타낸다. 연료 전지(1510)는 개질가능한 연료 스트림 같은 애노드 투입물 스트림(1505) 및 CO₂-함유 캐소드 투입물 스트림(1509)을 받아들일 수 있다. 임의적으로는, 애노드 투입물 스트림은 연소 및 후속 메탄화에 의해 리그닌 및/또는 옥수수대로부터 유도되는 메탄 같은 추가적인 공급원(1545)으로부터의 연료를 포함할 수 있다. 임의적으로, 캐소드 투입물 스트림(1509)은 에탄올(또는 다른 발효 생성물)을 제조하기 위한 발효 동안 발생하는 CO₂로부터 유도되는 추가적인 CO₂-함유 스트림(1539)을 포함할 수 있다. 연료 전지(1510)로부터의 캐소드 산출물은 도 15에 도시되어 있지 않다. 이어, 연료 전지(1510)로부터의 애노드 산출물(1515)을, 임의의 목적하는 순서대로, 예를 들어 아래에 기재되는 바와 같이, 또한 도 1 및 도 2에 추가로 예시되는 바와 같이, CO₂, H₂O 및/또는 H₂ 분리 스테이지중 하나 이상을 포함할 수 있는 하나 이상의 분리 스테이지(1520), 및/또는 하나 이상의 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킬 수 있다. 분리 스테이지는 CO₂ 산출물 스트림(1522), H₂O 산출물 스트림(1524), 및/또는 H₂(및/또는 합성 가스) 산출물 스트림(1526)에 상응하는 하나 이상의 스트림을 생성시킬 수 있다. 존재하는 경우 H₂ 및/또는 합성 가스 산출물 스트림(통칭하여 1526)을 사용하여 예컨대 에탄올 가공 플랜트(1560)에 의해 에탄올을 증류하기 위한 연료를 제공할 수 있다. 존재하는 경우, H₂O 산출물 스트림(1524)은 에탄올 가공 플랜트(1560)용 물을 제공할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC(1510)는 에탄올 가공 플랜트(1560)에 의해 사용되는 전력(1502)을 생성시킬 수 있다. 에탄올 가공 플랜트(1560)는 바람직하게는 적어도 부분적으로 증류되어 생성물의 알콜 농도를 향상시킬 수 있는 에탄올(및/또는 다른 알콜) 산출물(1565)을 생성시킬 수 있다. 도 15의 구성, 또는 상기 기재된 임의의 다른 구성을 리그닌 공급원의 사용 또는 다른 생물연료의 동시 생산 같은 다른 대체 구성중 임의의 것과 조합할 수 있다.

[0109]

통합된 MCFC와 발효 시스템의 예

[0110]

이 예는 CO₂를 적게 배출하면서 에탄올, 수소 및 전기를 생산하는 통합된 MCFC와 셀룰로즈성 에탄올 발효 공정을 예시한다. 이 예의 요지 하나는 MCFC 시스템과의 통합 양태에 있을 수 있다. 에탄올 발효 간은 발효 공정은 종래의 발효 방법에 상응할 수 있다. 예를 제공하기 위하여, 에탄올 발효 방법의 세부사항이 필요한 한, 참조문헌을 이용하여 대표적인 발효 공정을 제공하였다. [험버드(Humbird) 등, *Process Design and Economics for Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol*, NREL, 2011년 5월 참조]. 이 참조문헌에 기재된 기본 에탄올 발효 공정은 약 520톤/일 발효 플랜트에 상응한다. 그러나, 임의의 다른 편리한 발효 공정을 이 예 내로 대체해 넣을 수 있다. 이 예에서는, 대 공급원료의 발효로부터 에탄올을 생성시킬 수 있다. 발효 공정으로부터 거부된 생물 가스 및 생물질을 연소시켜, 공정의 증기 및 전력을 생성시킬 수 있으며, 일부 과량의 전력을 전력망으로 다시 판매한다. 이 통합된 MCFC-발효 공정에서, MCFC는 애노드 공급물로서 메탄-증기 혼합물을 사용할 수 있고, 캐소드 공급물로서 발효 시스템으로부터의 CO₂ 가스의 혼합물을 사용할 수 있다.

고온의 MCFC 애노드 배기 가스를 증기 시스템과 통합하여 증류 칼럼 가열 요구량을 제공하기에 충분한 저압 증기를 생성시킬 수 있다. 이는 또한 기존의 증기 터빈/HRSG 시스템을 통한 증기 속도도 증가시킬 수 있음에 주목한다. 애노드 배기 가스를 전화시키고 H_2 및 CO_2 생성물 스트림으로 분리할 수 있다. MCFC는 애노드 배기 가스 분리 및 가스의 파이프라인 조건으로의 압축에 적어도 충분한 전력을 생성시킬 수 있다.

[0111]

도 14는 이 구성의 MCFC 부분의 예를 도시한다. 도 14에서는, 증기(1401) 및 예열된 메탄(1402)을 MCFC(1450)의 애노드에 공급할 수 있다. MCFC(1450)는 주로 고온의 $H_2/CO/CO_2$ 의 혼합물(1403)을 생성시킬 수 있다. 양태에 따라, 약 25% 내지 약 60%, 예를 들어 약 30% 이상, 또는 약 40% 이상, 또는 약 50% 이하, 또는 약 40% 이하의 낮은 연료 이용률로 MCFC를 작동시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 약 70% 이상의 더욱 통상적인 연료 이용률로 MCFC를 작동시킬 수 있으나, 더 높은 연료 이용률에서는 애노드 배기 가스로부터 회수될 수 있는 가능한 H_2 의 양이 감소되기 때문에 이는 덜 바람직할 수 있다. 예를 들어 열 교환기(1460)에서 혼합물(1403)로부터 열을 회수하여, 투입 물 스트림(1407)으로부터 저압 증기(1408)를 형성시킬 수 있다. 투입 물 스트림(1407)은 임의의 편리한 공급원으로부터, 예컨대 캐소드 출구 스트림(1414) 및/또는 애노드 출구 스트림(1403)으로부터 회수되는 물로서 유도될 수 있다. 저압 증기를 사용하여 예컨대 도 14에 도시된 맥주 칼럼(1442)용 열 같은 증류용 열을 제공할 수 있다. 냉각된 애노드 배기 가스(1404)를 수성 가스 전화 반응기(1470)에서 전화시켜 주로 H_2/CO_2 의 혼합물을 생성시킬 수 있다. 이들 기체를 하나 이상의 분리 스테이지(1480)에서 H_2 스트림(1405)과 CO_2 스트림(1406)으로 분리할 수 있다. H_2 스트림(1405) 및 CO_2 스트림(1406)을 압축시키고 사용을 위해 판매할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, CO_2 스트림중 적어도 일부를 격리시킬 수 있다. 적은 CO_2 배출이 필요하지 않은 다른, 그러나 덜 바람직한 구성에서는, CO_2 스트림(1406)을 대기중으로 배출할 수 있다. 캐소드 공급물(1409)은 발효 공정의 오프 가스 스트림의 혼합물을 포함할 수 있다. 도 14에 도시된 예에서, 캐소드 공급물(1409)은 배기 스크러버 오프 가스(1431) 및 생물 가스 연소기 오프 가스(1433)로 구성될 수 있는데, 이들은 발효 공정으로부터 배출되는 CO_2 의 약 94%에 달할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드 공급물(1409)은 셀룰로즈 씨드 발효기 오프 가스(1435), 셀룰로즈 발효기 오프 가스(1437), 호기성 소화조 오프 가스(1439) 및/또는 임의의 다른 발효기 및/또는 소화조 오프 가스를 포함할 수 있다. 오프 가스(또는 오프 가스들)를 기체 세정 시스템(1448)을 통해 통과시켜 캐소드 공급물을 전처리할 수 있다. 오프 가스 혼합물(1409)을 버너(1490)에서 연료(CH_4)(1410) 및 산화제(공기)(1411)와 합치고, 연소시켜 MCFC 작동 온도까지 캐소드 공급물을 가열할 수 있다. 버너 산출물(1412)의 부가적인 열을 사용하여 메탄 애노드 공급물(1402)을 전처리할 수 있다. 캐소드 배기 가스(1414)를 HRSG로 보내어 임의의 열을 회수한 다음 대기중으로 배출할 수 있고/있거나, 요구되는 경우 추가적인 가공을 위해 보낼 수 있다.

[0112]

표 2는 통합된 MCFC 시스템을 사용하지 않는 동일한 종래의 발효 공정을 수행하는 경우와 비교한, 도 14와 유사한 구성에서의 CO_2 배출의 감소량의 예를 보여준다. 표 2에 보여지는 계산에 있어서는, 시스템에 사용되는 탄소가 모두 원래 생물 공급원으로부터 유도되는 탄소에 상응하는 것으로 추정하였다. 표 2에서 보여지는 바와 같이, MCFC 시스템과 발효 공정의 통합은 에탄올 발효로부터의 CO_2 배출을 상당히 감소시킬 가능성을 가질 수 있다. 발효 공정에 의해 발생하는 CO_2 를 대기 중으로 배출시키는 대신, 이 CO_2 의 적어도 일부를 사용하여 캐소드 입구 스트림의 일부 또는 전부를 형성시키면 이 CO_2 의 대부분이 비교적 순수한 애노드 출구 스트림으로 분리될 수 있도록 한다. 이어, 효율적인 방식으로 CO_2 를 애노드 출구 스트림으로부터 분리해내어(예를 들어, CO_2 의 약 90% 이상, 예를 들어 약 95% 이상을 분리해내어), CO_2 를 격리시킬 수 있다. 특히, 생물 기원 공급원으로부터 원래 유도된 탄소를 시스템으로의 탄소 투입물로 계산하지 않을 수 있는 탄소의 원래 공급원을 고려하면, 통합된 시스템으로부터의 순 CO_2 배출은 실제로 음일 수 있다. 이는 식물의 생명에 의해 대기로부터 원래 소비되는 탄소(생물 기원 탄소)가 이들 공정에서 CO_2 로서 포획되고 격리되어 환경으로부터의 탄소의 순 제거를 야기한다는 사실을 반영할 수 있다.

[0113]

[표 2]

[0114] MCFC 통합으로 인한 CO₂ 배출량의 감소

	EtOH 생성 [톤/일]	H ₂ 생성 [톤/일]	CO ₂ 배출 [kg CO ₂ /GJ]	생물 기원 공급원에 대해 보 정된 CO ₂ 배출[kg CO ₂ /GJ]
기본 경우	520	0	172	0
통합된 경우	520	265	25	-147

[0115]

[0116]

조류 생육 및 가공과의 통합

[0117]

생물 디젤을 제조하는데 사용도록 제안된 조류 양식장(광합성 조류)은 몇 가지 투입물, 즉 물, CO₂, 태양광, 영양분, 주로 질소, 가능하게는 열을 필요로 한다. 한 양태에서는, 조류 양식장(및 가능하게는 다른 공정)의 요구와 용융 카보네이트 연료 전지를 통합하여, 비용 및 CO₂ 배출량이 감소된 더 효율적인 전체 공정을 제공할 수 있다.

[0118]

한 양태에서는, MCFC에 의해 생성된 CO₂를 조류 양식장용 CO₂ 공급원으로서 사용할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC로부터의 투입물 및 산출물을 조류 양식장과 통합하여 하기중 하나 이상을 수행할 수 있다: 1) MCFC 애노드 배기 가스로부터 생성된 물을 조류의 보충수로서 사용함; 2) 생성된 열을, 밤/기온이 낮은 계절 동안 저수조를 가열하는데 사용함; 3) MCFC에 의해 생성된 전기를, 순환 장치 및 다른 공정을 작동시키는데 사용함; 4) 생물질 오프 가스(예컨대, 혐기성 소화조)를 MCFC용 연료/메탄 공급원으로서 사용함; 5) 기화 후 상이한 생물질(조류 생물질, 리그닌)을 애노드용 H₂/CO 공급원으로서 사용함; 6) CO₂ 생성 생물 공정(예컨대, 발효)을 캐소드의 CO₂ 공급원으로서 이용하여, 애노드에서의 분리를 통해 그 CO₂를 포획한 다음 그 CO₂를 분리 후에 조류로 전달함(예를 들어, 옥수수로부터 생성된 CO를 취하여 에탄올로 만들고, 이를 조류 생육에 사용하여 다른 생성물을 제조함); 7) MCFC에 의해 생성된 H₂ 및/또는 N₂를 사용하여 조류 생성을 위한 핵심 영양분으로서 사용하기 위한 질소-함유 화합물(예컨대, NH₃, 우레아)을 제조함.

[0119]

상기 기재된 양태의 한 가지 이점은 MCFC 공정 및 후속 분리가 발전소 배출물 또는 다른 CO₂ 공급원 같은 배기 가스 스트림에 전형적인 오염물질을 실질적으로 함유하지 않는 매우 "깨끗한" CO₂를 제조할 수 있다는 것일 수 있다. 상기에 보여준 통합 이점은 추가로 또는 다르게는 구성에 따라 더욱 다수의 통합 단위장치가 서로 딱 맞게 할 수 있다. 예를 들면, MCFC의 사용은 CO₂ 생성 공정과 CO₂ 소비 공정 사이에서 상승작용을 형성할 수 있다. 이러한 상승작용 공정에서, MCFC는 CO₂를 효율적인 방식으로 농축, 분리 및 사용하는 중개자로서 작용할 수 있다. MCFC는 또한 또는 다르게는 전형적인 외부 CO₂ 공급원(예를 들어, 발전소, 터빈)을 갖도록 구성되어, MCFC를 이용하여 CO₂를 a) 농축시키고, b) 정제하며, c) 사용하기 쉬운 형태로 조류 생육 환경으로 전달하도록 할 수 있다. 이는 오염물질을 갖는 묽은 CO₂를 조류에 통과시키는 것에 비해 주목할만한 개선일 수 있다.

[0120]

시멘트 제조와의 통합

[0121]

콘크리트 및 강은 대부분의 주요 기반 시설 프로젝트의 건물에서 대부분의 질량, 비용 및 이산화탄소 배출의 원인이 될 수 있는 중요한 기반 시설 건축 자재이다. 예를 들면, 콘크리트는 현재 전 세계 CO₂ 배출량의 약 5%를 차지하고 있다. 총 배출량 중에서, 시멘트, 예를 들어 포틀랜드 시멘트의 제조가 최종 생성물로부터의 총 배출량의 약 95%를 나타낸다. CO₂는 주로 두 가지 공급원으로부터 발생될 수 있다: 탄산칼슘이 산화칼슘과 CO₂로 분해됨, 및 시멘트 가마를 약 1800℃의 고온으로 가열함(이는 전형적으로 연료로서 석탄을 사용하여 수행됨). 전형적으로는 구조용 바위가 발견되는 채석장 부근에서 수백채의 플랜트(미국에서는 약 150 내지 200채)에서 시멘트가 제조된다.

[0122]

시멘트의 제조는 전형적으로 물질의 혼합물을 매우 고온으로 가열함을 포함한다. 주요 구성성분은 실리카(모래), 철광석, 알루미늄(셰일, 보크사이트, 다른 광석) 및/또는 다른 물질중 하나 이상과 함께 석회석(CaCO₃)을 포함할 수 있다. 구성성분을 파쇄하고 혼합한 후, 이들을 전형적으로는 공기 중에서, 매우 고온, 전형적으로는 약 1400℃ 이상, 예컨대 약 1800℃ 이상, 때때로는 약 2000℃ 이상의 가마에 도입할 수 있다. 이들 조건 하에서, 클링커(clinker)로 불리는 생성물이 생성될 수 있다. 클링커는 상업적인 시멘트를 제조하기 위하여 전형적으로 분쇄되는 안정한 생성물일 수 있다. 이 논의에서, 클링커는 시멘트 생성물로 일컬어질 수 있다.

시멘트 생성물을 제조하는 공정은 전형적으로 다음과 같은 하나의 중요한 화학적 변화를 야기할 수 있다: 석회석의 CaO 및 CO_2 로의 분해. 산화물로서 출발하는 다른 광석은 전형적으로 화학적으로 변하지 않는다. 약간의 냉각 후, 시멘트 생성물을 전형적으로는 석고 같은 다른 성분과 혼합하고, 임의적으로 분쇄하여 시멘트 용도 및/또는 콘크리트 생성에 사용하기 적합한 요구되는 최종 특징을 획득할 수 있다.

[0123]

일반적으로는, 시멘트 제조 공정으로부터의 CO_2 를 캐소드용 투입물로서 사용함으로써, MCFC를 CO_2 관리 수단으로 이용할 수 있다. 전통적인 시멘트 제조에 의해 방출되는 CO_2 의 양은 전형적으로는 약 50% 이상이 CaCO_3 의 분해로부터이고, 약 50% 이하가 탄소-함유 연료의 연소에 기초한 가열에 기인한 것일 수 있으며, 그 양은 개별적인 제조 작업의 특징에 따라 달라질 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 콘크리트 및 시멘트 제조에는 전체 공정에 대한 전기 및 기계적 에너지가 필요할 수 있다. 광물의 생산을 위한 채석장 같은 지역적인 재원이 전형적으로 같이 위치하거나 근접해서 위치하는 경우, 시멘트 생성 공정에 수반되는 수송, 분쇄, 다양한 기계적 공정은 다량의 전기를 소비할 수 있다. 이들 에너지 요구량은 적어도 부분적으로는 시멘트 플랜트와 통합된 MCFC에 의해 발생하는 전기에 의해 충족될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드 배기 가스 상에서 수행되는 분리 단계는 물을 생성시킬 수 있고, 이 물을 사용하여 전형적인 시멘트 플랜트의 물 요구량을 경감시키고/시키거나 충족시킬 수 있다. 임의적으로는, 낮은 연료 이용률로 MCFC를 작동시켜 연료로서 수소를 제공할 수 있으며, 이 수소도 추가로 또는 다르게는 연료 연소로 인한 CO_2 배출을 없애거나 경감시킬 수 있다.

[0124]

한 양태에서는, MCFC 시스템을 시멘트 생산 플랜트와 통합시켜, MCFC 열 및 전기를 생산 플랜트에 전력을 제공하는데 사용하면서 시멘트 배출가스를 CO_2 공급원으로서 사용할 수 있다. 이 제 1 구성은 CO_2 의 주요 공급원을 소비할 수 있고, 또한 열 및 전기 수요로 인한 CO_2 의 부수적인 공급원중 일부를 경감시킬 수 있다. 순 결과는 탄소 포획 가능성을 갖는, 탄소 배출량이 낮은 시멘트 제조 공정일 수 있다.

[0125]

추가적인 또는 다른 구성에서는, MCFC 입구 스트림중 하나 이상, 예컨대 MCFC 입구 스트림 모두를 예열하는데 감소된 양의 추가적인 연료를 필요로 하거나 추가적인 연료를 필요로 하지 않을 수 있도록, MCFC 시스템을 시멘트 제조 작업과 열 통합시킬 수 있다. 예를 들어, 가마로부터의 일부 CO_2 함유 배출가스와 충분한 산소를 제공하기 위한 추가적인 (저온) 산화제(공기)를 포함할 수 있는 캐소드 입구 스트림을 가마 산출물과의 열 교환에 의해 약 500°C 내지 약 700°C 의 전형적인 캐소드 입구 온도까지 충분히 예열할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC 시스템으로부터의 애노드 배기 가스를 태움으로써, 전형적으로는 석탄을 태움으로써 제공되는 가마용 열을 대신 부분적으로 또는 완전히 제공할 수 있는데, 석탄보다 덜 탄소-집약적인 공급원으로부터 유도될 때 전체 CO_2 배출을 감소시킬 수 있다.

[0126]

다른 추가적인 또는 다른 구성에서는, 전체적인 플랜트의 탄소 배출량중 대다수를 피하도록 MCFC 시스템을 구성할 수 있다. 이 구성에서는, MCFC 시스템 애노드 산출물, 즉 전형적으로 CO_2 , CO , H_2 및 물을 함유하는 스트림을, 격리/포획을 위해 CO_2 를 분리하도록 디자인된 일련의 공정을 거치게 하여, 동일하거나 상이한 분리 공정에서 물을 제거하고/하거나 수성 가스 전화 기체를 "전화"시켜 수소가 매우 풍부한 스트림을 생성시킬 수 있다. 이 수소 스트림을 가마용 가열 투입물(연소되는 경우)로서 사용하여, 탄소 배출을 감소시키거나 최소화할 수 있다. 임의적으로는, 열량값을 갖는 임의의 오프-가스를 애노드로 재순환시킬 수 있다(예를 들어, CO 함유 오프-가스). 추가로 또는 다르게는, 애노드 배기 가스로부터의 물을 사용하여 분쇄, 혼합 또는 지역적인 공급원으로부터 야기되는 다른 시멘트 공정에 사용되는 임의의 물을 상쇄시킬 수 있다. 시멘트, 콘크리트의 적어도 일부 또는 전체, 및/또는 채석장 작업, 및/또는 작업의 적어도 일부에 필요한 전기는 현장의 MCFC에 의해 제공될 수 있다. 이는 전송 손실을 감소시키거나 최소화할 뿐만 아니라 전력망을 통해 전기를 제공하는데 사용되는 연료로부터의 상응하는 CO_2 배출을 감소시킬 수 있다. 이어, 전체 공정은 더 높은 전체 열 효율로 작동되면서 종래의 채광 및 제조 작업과 비교할 때 실질적으로 감소될 수 있는 "라이프-사이클" CO_2 배출을 나타낼 수 있다.

[0127]

이들 구성에서, 애노드로의 투입용 연료는 전형적으로는, 임의적으로 일부 경질 연료 성분을 함유하는 오프-가스 및/또는 다른 페스트림과 함께 및/또는 수성 가스 전화 성분과 함께, 천연 가스, 메탄 및/또는 다른 경질 탄화수소의 공급원에 의해 제공될 수 있다. 애노드로의 연료는 허용가능한 양의 질소 같은 다른 불활성 기체를 함유할 수 있으나, 바람직하게는 의도적으로 첨가되는 산소 같은 산소를 상당량으로 함유하지 않는다. 애노드 입구 스트림은 추가로 또는 다르게는 석탄을 비롯한 다른 탄화수소계 물질(이들 물질이 먼저 개질가능한 연료로 전환되는 경우)을 포함할 수 있고/있거나 이들 물질로부터 유도될 수 있다. 이러한 전환에, 또한 임의적으로는

애노드 입구를 예열하기 위해 필요한 열의 적어도 일부(심지어는 모든 열)는 유리하게는 가마 배기 가스 또는 생성물과의 접촉으로부터 열 교환에 의해 제공될 수 있다. 열 교환은 직접적일 수 있고/있거나 증기 같은 열 전달 매질을 통해 간접적일 수 있다. 이러한 열 교환 공정을 위한 물(증기) 및/또는 시멘트 제조에 관련된 다른 공정에 사용되는 물은 적어도 부분적으로는 애노드 배기 가스 스트림으로부터 분리된 후 애노드 화학 반응 및 전기화학 반응에 의해 생성된 물을 사용하여 제공될 수 있다.

[0128]

캐소드 입구 스트림은 적어도 부분적으로는 CO₂가 풍부할 수 있는 가마 배기 가스로부터 유도될 수 있다. 이 스트림은 먼지, 오물, 광물 및/또는 MCFC 내로 도입하기에 적합하지 않은 다른 고체 성분을 함유할 수 있다. 이러한 적합하지 않은 성분을 예컨대 필터로 제거할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 전형적으로 시멘트 플랜트는 가마로부터의 미립자 배출물을 감소, 최소화 및/또는 실질적으로 없애기 위한 시스템을 함유할 수 있고, MCFC와 통합되는 시스템에 유사한 시스템을 사용할 수 있다. 가마 배기 가스 및/또는 가마 배기 가스의 적어도 일부를 함유하는 캐소드 입구 스트림은 캐소드에 유해하지 않은 일부 잔류 기체를 함유할 수 있다. 이러한 잔류 기체의 예는 질소, 산소 및/또는 다른 공기 성분뿐만 아니라, 허용가능한 농도(예를 들어, 약 100vppm 미만, 또는 약 50vppm 미만, 또는 약 25vppm 미만, 불순물 오염물(들)에 따라)로 존재하는 경우 질소 산화물 같은 임의적인 미량의 불순물 오염물을 포함할 수 있다. 캐소드는 추가로 또는 다르게는 충분한 산소 농도를 획득하기 위해 신선한 공기의 사용을 필요로 할 수 있다. 바람직하게는, 캐소드 출구에서의 산소 농도는 대략 캐소드 출구에서의 CO₂ 농도 이상일 수 있으나, CO₂ 농도의 약 절반 이상의 산소 농도 또한 허용될 수 있다. 임의적으로는, 캐소드 입구에서의 산소 농도는 대략 캐소드 입구에서의 CO₂ 농도 이상일 수 있다. 많은 MCFC 시스템에 있어서는, 일부 연료를 태워 캐소드 입구 스트림을 가열할 필요가 있을 수 있다. 그러나, 상기 기재된 구성에 있어서, 가마 배기 가스 및/또는 고체 생성물과의 열 교환은 하나 이상의 캐소드 입구 스트림을 가열하는데 요구되는 열의 적어도 일부, 또는 실질적으로는 열의 전부를 제공할 수 있다. 이는 연료를 연소시켜 캐소드 입구 스트림용의 추가적인 열을 제공할 필요를 감소시키거나, 최소화하거나 가능하게는 없앨 수 있다.

[0129]

대부분의 전통적인 전력-생성 MCFC 시스템에 있어서 애노드 출구 스트림은 전형적으로 캐소드로 부분적으로 또는 완전히 재순환되어 CO₂ 및 열을 제공할 수 있다. 본 발명에 따른 이들 구성에서는, 이 애노드 배기 가스가 이 목적을 위해 요구되지 않으며, 대신 임의적으로, 그러나 바람직하게는 가마용 열을 제공하는 것과 같은 다른 목적을 위해 사용된다. 유리하게는, 전화 및/또는 분리 단계와 함께 또는 없이 이용되는 경우 애노드 배기 가스가 가마 온도를 작업 온도까지 높이는데 필요한 열의 적어도 일부(또는 전부)를 제공하도록, 낮은 연료 이용률로 MCFC를 작동시킬 수 있다. 유리하게는, 총 전력 산출물이 국부적인 전력 요구량(이는 직접적인 시멘트 제조뿐만 아니라 수반되는 콘크리트, 채석장 및 다른 작업을 포함할 수 있음)의 적어도 일부(또는 전부)에 충분할 수 있도록 조건을 추가로 또는 다르게 선택할 수 있다. 연료 이용률을 변화시킴으로써 시스템이 두 조건을 충족시킬 수 있도록 MCFC 시스템을 디자인할 수 있고, MCFC 시스템은 연료 이용률, 전지 전압 및 전류, 및/또는 다른 매개변수를 조정함으로써 이러한 조건에서의 변화에 응답할 수 있다.

[0130]

질소 같은 불활성 성분(공기)과 함께 전형적으로 캐소드 입구 스트림에 비해 감소된 CO₂ 및 O₂ 농도를 포함하는 캐소드 배기 가스 스트림은 전형적으로는 대기로 배출될 수 있으나, 다르게는 그렇게 하기 전에 먼저 하나 이상의 후처리에 노출시킬 수 있다.

[0131]

도 17은 CO₂ 배출량이 낮은 시멘트를 생성시키기 위하여 시멘트 제조 플랜트에 통합된 MCFC 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다. 시멘트 플랜트의 가장 큰 두 CO₂ 공급원은 전형적으로는 회전 가마 같은 가마를 가열하기 위한 화석 연료의 연소 및 가마에서의 CaCO₃의 CaO로의 분해이다. 도 17에 도시된 구성에서, 통합된 공정은 그 대신 가마에서 MCFC로부터 생성된 H₂를 연소시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는 분해 CO₂ 오프 가스를 캐소드 공급물로서 사용할 수 있다.

[0132]

도 17의 구성에서는, 메탄의 기체 유동(1701) 및 스트림(1702)을 MCFC(1720)의 애노드에 공급할 수 있다. H₂, CO, CO₂ 및 H₂O의 혼합물을 포함할 수 있는 애노드 배기 가스(1703)를 열 회수 증기 발생기(HRSG)(1722)에서 냉각시키고 수성 가스 전화 반응기(도시되지 않음)에서 전화시켜, 주로 H₂와 CO₂의 혼합물(1704)을 생성시킬 수 있다. 이 경우에는, 스트림(1704)을 탈수시키고(1760) H₂-함유 스트림(1706) 및 CO₂-함유 스트림(1707)으로 분리시킬 수 있다(1750). 스트림(1707)을 압축시키고/시키거나(또한 사용을 위해 판매하고, 먼 거리에서 사용하기 위해 선적하고 등등) 격리 설비로 보낼 수 있다. 스트림(1706)을 회전 가마(1740)의 개방된 화염(산화제/공기

(1741)과 함께)용 연료로서 사용할 수 있다. 가마(1740)에서 생성된 "클링커" 생성물을 클링커 냉각기(1770)에 통과시킬 수 있다. 가마(1740), 클링커 생성물 및/또는 클링커 냉각기(1770)에서 다양한 유형의 열 교환을 수행하여, 시스템의 다른 공정을 위한 열을 제공할 수 있다. 가마(1740)에서는, CaCO_3 가 분해됨에 따라 CO_2 를 방출시킬 수 있다. CO_2 를 화염 배기 gas와 합치고, 가마 오프 가스(1708)로서 가마(1740) 꼭대기로부터 내보낼 수 있다. 가마 오프 가스(1708)를 세정하고/하거나 탈수시켜(1730) 물 및/또는 불순물 스트림(1709) 및 MCFC(1720)의 캐소드 전방으로 복귀될 수 있는 CO_2 -함유 스트림(1710)을 생성시킬 수 있다. 스트림(1710)을 공기(1711) 및 임의적으로는 캐소드 배기 가스(1712)의 일부와 혼합하여, 캐소드로의 CO_2 공급 요구량을 충족시키는데 도움을 줄 수 있다. CO_2 가 고갈된 캐소드 배기 가스를 분할하여, 한 분획은 임의적으로 재순환시키고(1712) 다른 분획은 HRS(1724)로 보내고 대기 중으로 방출시킨다(1713)(추가로 가공하기 위해 보내지지 않는 경우, 도시되지 않음).

[0133]

회전 가마의 가열 조건 및 CO_2 생산의 예로서, 문헌[Energy and Emissions from the Cement Industry]으로부터의 값을 취하였다. [조에이트(Choate, William T.) Energy and Emissions Reduction Opportunities for the Cement Industry. 미국 에너지부, 2003년 12월.] 이들 대표적인 값에 기초하여, 회전 가마에서 약 300톤의 클링커/시간을 처리하도록 하는 크기로 결정된 통합 공정의 예에 대해 계산을 수행하였다. 도 17과 유사한 구성에 있어서 물질 및 에너지 평형 계산에 기초한 유동 값이 도 18의 표에 기재된다. 도 18에서, 각 칼럼 상단의 숫자는 도 17의 구성으로부터의 상응하는 요소를 나타낸다. 이 계산을 이용하여, 도 17에 도시된 클링커 냉각기(1770)에서의 열중 다량을, MCFC 입구 스트림 모두를 작업 온도까지 예열하는데 사용할 수 있음을 보여줄 수 있다. 가마용 H_2 연료 이외에, MCFC는 또한 가마 공급물용 원료의 분쇄 같은 다른 에너지 집약적인 공정에서 사용될 수 있는 약 176MW의 전력도 생산할 수 있다. 표 A는 도 18에 도시된 계산에 기초하여 계산된 추가적인 전력 생산 및 감소된 CO_2 배출을 요약한다. 표 A에서 보이는 바와 같이, 회전 가마에 대표적인 값을 이용한 도 17과 유사한 구성의 계산은 시멘트 공정과 MCFC의 통합이 CO_2 배출을 약 90%까지 감소시키면서 추가적인 전력을 제공할 수 있음을 보여준다.

[0134]

[표 A]

[0135]

시멘트 가공 동안의 전력 생산 및 CO_2 배출

	전력 생산[MW]	CO_2 배출[kg CO_2 /클링커 톤]
화석 연료 연소식 가마	0	976.5
MCFC+가마	172	96.9

[0136]

[0137]

상기 나타낸 바와 같이, 전형적인 시멘트 공정으로부터의 CO_2 배출의 약 절반은 가마에 열을 제공하기 위한 연료의 연소에 기인한 것이다. 이러한 연소 공정은 통상 산소 공급원을 제공하기 위해 공기를 사용하여, 부분적으로는 공기 중에 존재하는 다량의 N_2 로 인해 CO_2 농도 면에서 비교적 묽은 연소로부터의 오프 가스를 생성시킨다. 묽은 CO_2 (예를 들어, 10부피% 이하의 CO_2)를 함유하는 스트림으로부터 CO_2 를 분리하기 위한 통상적인 대안은 모노에탄올아민에 기초한 아민 세척 같은 아민 세척을 이용하는 것이다. 비교하기 위하여, 모노에탄올아민(MEA)에 기초한 아민 세척을 이용하여 묽은 CO_2 스트림(예컨대, 약 10부피% 이하의 CO_2 를 갖는 스트림)으로부터 CO_2 를 포획하는데 예상되는 전형적인 에너지 비용은 약 GJ/톤 CO_2 인 것으로 추정되었다. 이 예상되는 에너지 비용에 기초하여, MCFC를 이용하는 대신 CO_2 를 포획하는데 아민 세척을 이용하면 상당한 에너지 비용을 야기하는 동시에 MCFC에 의해 생성되는 추가적인 전기 에너지를 갖지 못할 수 있다.

[0138]

제철 또는 제강과의 통합

[0139]

다양한 양태에서는, MCFC 시스템의 이용과 제철 및/또는 제강을 통합하는 공정이 제공된다. 철광석에 존재하는 철 산화물을 환원시킴으로써 철을 생성시킬 수 있다. 반응은 2000℃ 이하, 더욱 전형적으로는 약 800℃ 내지 약 1600℃ 같은 고온, 및 철 금속을 생성시키기 위해 용광로에서 사용될 수 있는 철 산화물로부터 강하게 결합된 산소를 제거할 수 있는 환원제를 필요로 할 수 있다. 가장 널리 이용되는 방법은 석탄을 가공하여 코크스를 생성하고 CO를 포함하는 용광로 가스를 주요 화학적 환원제로서 생성함을 포함한다. 공정은 전형적으로 또한 상당량의 열, 및 흔히하는 기본 공정 자체 및 후속 제강 공정에 사용되는 상당량의 전기를 필요로 할 수 있다.

전기 요구량은 펌프, 밸브 및 다른 기계장치를 작동시키기 위한 전형적인 플랜트 요구량뿐만 아니라 직접 환원 철 가공, 전기로 제강 및 유사한 공정 같은 직접적이고 큰 전기 투입량을 포함할 수 있다. 단순히 냉각에 필요한 물보다 더 많은 상당량의 물이 제강에 필요할 수 있는데, 왜냐하면 물을 사용하여 석탄을 가공하는데, 강으로부터 스케일(scale)을 직접 제거하는데, 증기 발생, 수력 및 다른 시스템에 물을 사용할 수 있기 때문이다.

[0140]

종래의 철 생산 공정에서, 로 가스는 상당량의 CO뿐만 아니라 일부 양의 H_2 , H_2O , N_2 , 임의적으로, 그러나 전형적으로는 황(예컨대, H_2S), 및 임의적으로, 그러나 전형적으로는 석탄으로부터 유도되는 하나 이상의 다른 다양한 기체를 포함할 수 있다. 철이 효과적인 수성 가스 전화 촉매일 수 있기 때문에, 네 가지 수성 가스 전화 분자(CO , CO_2 , H_2O , H_2)는 전형적으로 공정에서 평형상태에 있거나 평형상태에 가까울 수 있다. CO는 철 산화물과 반응하여, 일부 탄소를 환원된 철 내로 혼입시키면서 CO_2 를 생성하고 철을 환원시킬 수 있다. 예를 들어 다양한 등급의 철 및 강 생성물을 제조하는데 요구되는 수준까지 제어하면서 산화시킴으로써, 이 탄소를 부분적으로 제거할 수 있다. 종래의 철 생산 공정에서 석탄 및 코크스의 역할은 두 가지일 수 있다. 첫째, 석탄 또는 코크스는 철 산화물을 철로 전환시키기 위한 환원제를 제공할 수 있다. 둘째, 석탄 또는 코크스는 연소되어 매우 높은 로 온도를 유지하기 위한 열을 제공할 수 있다. 공정은 전형적으로는 대기압 또는 대기압 부근에서 수행될 수 있다. 종래의 공정에서, 배출 용광로 가스는 전형적으로 추가적인 열을 얻기 위해 태워질 수 있는 연소성 물질을 약간량 함유할 수 있다.

[0141]

종래 공정의 단점은 생성되는 철 또는 강 1톤당 다량의 CO_2 가 생성됨을 포함할 수 있다. 공정에 사용되는 석탄 및 코크스 이외에, 용제(전형적으로는 $CaCO_3$ 같은 카보네이트 또는 카보네이트와 다른 물질의 혼합물)가 공정에서 분해되어 추가적인 CO_2 를 방출시킬 수 있다. 로에서 나가는 CO_2 를 포획하거나 그 양을 감소시키려면 다양한 배기 가스 시스템으로부터 CO_2 를 분리해야 하는데, 이는 어려울 수 있고 다수의 수집, 농축 및 세정 단계를 포함할 수 있다.

[0142]

다양한 양태에서, 철 및/또는 강 생산 공정과 용융 카보네이트 연료 전지의 통합 작동은 증가된 효율, 생성되는 생성물 1톤당 배출되는 탄소의 감소 및/또는 시스템의 통합된 일부로서 간단해진 탄소 배출물 포획을 비롯한(이들로 한정되지는 않음) 공정 개선을 제공할 수 있다. 연료 공급물 원료 및 공정에 전력을 공급하는데 필요한 다양한 화합물, 열 및 전기 산출물에서의 융통성을 제공하면서, 전체 생산 시스템의 별도의 공정 수 및 복잡함이 감소될 수 있다.

[0143]

추가적인 또는 다른 양태에서, 통합된 MCFC 및 철 생산 시스템은 가열 면에서 융통성을 제공하면서 더 간단한 시스템으로 탄소를 효율적으로 수집할 수 있게 한다. 추가로 또는 다르게는, 통합된 MCFC 및 철 생산 시스템은 플랜트로의 전체 전기 투입물의 일부로서 사용될 수 있는 전기를 직접 생산함을 포함할 수 있다. 현장에서 전기를 생산하기 때문에, 전송 손실을 감소시키거나 최소화할 수 있고, AC 전력을 DC 전력으로 변환시킬 때 발생할 수 있는 손실을 추가로 또는 다르게 피할 수 있다. 또한, 전기를 생산하는데 사용되는 연료중 탄소를, 용광로 배기 가스(또는 철 또는 강 생산에 사용되는 다른 유형의 로로부터의 배기 가스)로부터 이산화탄소를 포획하는데 이용되는 것과 동일한 탄소 포획 시스템에 혼입시킬 수 있다. 제안된 시스템은 환원제(CO), 열 및 전기 산출물의 가변적인 생산을 위해 디자인되어, 동일한 핵심 구성요소를 이용하는 넓은 범위의 제철 및 제강 공정에 적합화될 수 있다.

[0144]

한 양태에서는, MCFC 시스템을 이용하여 과량의 H_2 및/또는 CO(합성 가스)를 함유하는 애노드 배기 가스 스트림을 형성시킬 수 있다. MCFC 애노드 배기 가스로부터의 과량의 합성 가스를 회수 및 사용하여, 코크스의 사용을 감소시키거나 최소화시키거나 없애면서 제철 또는 제강을 수행할 수 있다. MCFC로부터의 애노드 배기 가스를 약 500kPag 이하, 예컨대 약 400kPag 이하 또는 약 250kPag 이하의 압력으로 배출할 수 있다. 예를 들면, 애노드 배기 가스로부터 생산 또는 회수되는 합성 가스를 취하고, CO로부터 H_2 의 적어도 일부를 분리하고, H_2 로 로를 작동시킨 다음, CO를 사용하여 철의 환원을 수행한 다음, MCFC에서 제철 공정으로부터 생성된 CO_2 를 소비하고 이를 포획하여, 공정으로부터의 CO_2 배출을 실질적으로 감소시킬 수 있다. 이러한 양태에서, MCFC는 탄소 산화물의 관리 시스템(CO의 공급원, CO_2 의 제거원)으로서, 또한 예를 들어 가열을 위해 H_2 를 제공함으로써, 효율을 위해 투입물 스트림 및 배기 가스 스트림과의 열 교환에 의해, 탄소 포획에 의해, 및/또는 깨끗한 공정수 형성에 의해, 제철 또는 제강 공정으로의 보충 투입물의 공급원으로서 작용할 수 있다. 다양한 제강 공정이 추가적으로 또는 다르게는 MCFC 시스템에 의해 제공될 수 있는 전기 에너지를 사용할 수 있음에 주목한다. 예를

들어, 제강은 로의 사용을 포함할 수 있고, 철의 직접적인 환원은 전류를 사용하여 수행될 수 있다. 다양한 양태에서, MCFC를 포함하는 통합된 시스템에 이용되는 로를 전기에 의해 가열할 수 있거나, 또는 로에서의 합성 가스의 연소를 피할 수 있는 다른 간접적인 방법에 의해 가열할 수 있다.

[0145]

제철 또는 제강용 반응 시스템에 용융 카보네이트 연료 전지를 통합한 예로서, 먼저 메탄 또는 다른 개질가능한 연료를 MCFC 애노드에 도입함으로써 환원제 가스를 용광로에 제공할 수 있는데, 이 때 전기(예컨대, 플랜트에 사용하기 위한) 및 애노드 산출물로부터의 합성 가스를 생산하는데 MCFC를 이용할 수 있다. 생성되는 합성 가스의 양이 제철 또는 제강 공정에 필요한 CO 환원제를 모두 또는 실질적으로 모두 제공하기에 충분할 수 있도록 MCFC 시스템의 크기를 바람직하게 결정할 수 있다. 임의적으로는, 제철 또는 제강 공정용 CO의 일부를 추가로 또는 다르게 로의 철광석 또는 다른 철 산화물 공급물의 일부로서 도입할 수 있다. 더욱 다량의 전기(예를 들어, 직접 환원 제강 공정) 또는 더욱 소량의 전기를 필요로 할 수 있는 관련 공정의 유형에 따라, 전기를 전력망으로 복귀시키거나 또는 전력망으로부터 빼내어 플랜트로부터의 에너지 투입물의 균형을 맞추게 할 수 있다. 다르게는, MCFC가 필요한 전기 에너지 및 환원제를 모두 생성시킬 수 있도록 MCFC의 크기를 결정할 수 있으며, MCFC는 두 주요 산출물이 플랜트 조건에 적합하도록 균형을 이루게 하는 연료 이용률로 작동된다. 시스템의 융통성으로 인해, 이 비가 소정 플랜트 내에서의 공정 또는 공정 조건 변화에 적합하도록 조정할 수 있다(예를 들어, 다른 변수 중에서도 특히 연료 이용률, 전압 및/또는 투입물/산출물 온도를 조정함으로써).

[0146]

임의적으로는, 그러나 바람직하게는, 제철 또는 제강과 통합된 MCFC 시스템을 낮은 연료 이용률로 작동시켜, 애노드 배기 가스로부터 생성되거나 회수되어 이용될 수 있는 합성 가스의 양을 증가시킬 수 있다. 이것이 필요한 것이 아닐 수도 있지만, 대부분의 MCFC 작동이 전형적으로 합성 가스를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성시킬 수 있기 때문에, 때때로는 애노드 합성 가스의 생산을 최대화하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 연료 이용률은 약 25% 이상, 예를 들어 약 30% 이상, 또는 약 35% 이상, 또는 약 40% 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 연료 이용률은 약 60% 이하, 예컨대 약 55% 이하, 또는 약 50% 이하, 또는 약 45% 이하, 또는 약 40% 이하일 수 있다. 낮은 연료 이용률 값을 이용하면, 애노드 산출물중 H_2 및 CO의 함량이 증가될 수 있다. 이어, 애노드 산출물을 용광로용 환원 가스의 공급원으로서 사용할 수 있다. 요구되는 경우, 합성 가스 산출물이 전체 플랜트의 전기 요구량과 균형을 이룰 수 있도록 연료 이용률을 조정할 수 있다. 이는 별도의 전력망-전력의 필요성을 없앨 수 있고, 단일 발전 시스템에 공급되는 단일 연료 공급원만으로 플랜트에 에너지 자급을 제공할 수 있으며; 이러한 상황에서 MCFC는 플랜트 작동에 필요한 전기적 구성성분 및 화학적 구성성분을 둘 다 제공할 수 있다. 다르게는, 플랜트는 MCFC 시스템과 함께 터빈을 사용하는 것과 같이 별도의 발전 시스템을 사용하여, 일부 전력을 두 시스템에 의해 생성하고 MCFC 시스템을 합성 가스 생성에 최적화시키도록 할 수 있다. 크기, 이용가능한 연료 공급원, 고유한 전기 요구량 및 다른 인자는 임의의 이들 조합이 (가장) 효율적이고/이거나 경제적으로 유리한 배열이 되도록 할 수 있다.

[0147]

다양한 양태에서, 통합된 제철 또는 제강 시스템의 MCFC용 연료 투입물은 바람직하게는 메탄 또는 천연 가스를 포함하거나 이들일 수 있으나, 실제로는 MCFC에 양립가능한 임의의 탄화수소계 물질일 수 있다. MCFC 내에서 직접 개질될 수 없는 탄화수소계 물질(예컨대, C2-C5 경질 가스)의 경우에는, 예비 개질기를 사용하여 투입물 연료를 메탄과 합성 가스의 혼합물로 전환시킬 수 있다. 이러한 상황에서, 바람직하게는 애노드 투입물 가스는 다량 또는 우세한 백분율의 개질가능한 기체를 함유할 수 있고, 소정량의 합성 가스 구성성분 및 불활성 물질을 함유할 수 있다. 애노드 투입물은 바람직하게는 제거되는 황 같은 불순물을 가질 수 있는데, 이는 종래의 시스템에 의해 달성될 수 있고, 투입물 연료의 공급원 및 순도에 따라 달라질 수 있다. 불순물이 제거되는 개질가능한 연료를 포함하는 혼합물로 먼저 전환되는 경우, 석탄 및/또는 다른 고체 연료 같은 투입물 연료를 사용할 수 있다. 캐소드로의 투입물은 주로 철 환원 공정 배기 가스로부터 유도될 수 있고, CO_2 , H_2O , O_2 및 불활성 물질중 하나 이상을 함유하는 다른 스트림을 함유할 수 있다. 공기/산소 함유 스트림을 첨가하여 캐소드에 충분한 산소를 제공할 수 있고, 전형적으로는 총 CO_2 양보다 과량인 전체 캐소드 배기 가스중 산소량을 필요로 할 수 있다.

[0148]

애노드 산출물로부터의 합성 가스 배기 가스를 분리 공정으로 보내고, 여기에서 CO_2 및 가능하게는 약간의 물을 스트림으로부터 제거할 수 있다. 분리 시스템은 용광로 내에서 철 환원 공정 조건에서 평형상태를 이루는 경우 다른 기체 성분에 비해 적절한 양의 CO를 가질 수 있는 합성 가스 조성을 생성시키기에 충분한 H_2O 및 CO_2 를 제거하도록 디자인될 수 있다. 종래의 공정과는 대조적으로, 생성되는 CO는 황 같은 불순물을 거의 함유하지 않아서, 석탄 및/또는 코크스를 이용하는 경우 통상적으로 요구되는 전체 제철 또는 제강 플랜트에서의 오염물질 제어 시스템의 필요성을 단순화시킬 수 있다. 철 환원 공정에서 CO를 소비한 후, 공정으로부터의 배기 가스에

서 CO_2 를 생성시킬 수 있다. 이어, 요구되는 경우 적절한 열 교환 후, 이 CO_2 가 풍부한 배기 가스 스트림을 MCFC 캐소드로의 투입물로서 사용할 수 있다. 이는 전형적으로 증기 발생을 포함할 수 있는데, 이 증기는 증기 터빈으로부터의 부수적인 발전에 공급될 수 있다. 예를 들면, 배기 가스는 연소성 물질을 함유할 수 있고, 공기 또는 산소를 첨가함으로써 이 연소성 물질을 연소시켜 추가적인 열을 생성시킬 수 있다. 생성된 열을 다양한 플랜트 공정에 사용할 수 있으나, 연소에 의해 생성된 CO_2 는 연도 가스에 잔류할 수 있고, 이 연도 가스는 캐소드 내로 후속 도입될 때 MCFC 시스템에 의해 효과적으로 농축/포획될 수 있다.

[0149]

MCFC 시스템을 가열하기 위한 연료의 별도의 연소는 상기 임의의 시스템에서 감소되거나 최소화될 수 있는데, 왜냐하면 충분한 열 교환용 폐열이 전형적으로 제철 또는 제강 공정으로부터 입수될 수 있음이 분명하기 때문이다. 바람직하게는, 보다 낮은 연료 이용률을 이용할 수 있는데, 왜냐하면 이러한 조건하에서 작동시키면 사용되는 연료 전지 어레이당 더 많은 CO를 생성시킬 수 있고 사용되는 MCFC 어레이당 더 큰 탄소 포획을 달성할 수 있기 때문이다. 용광로 오프 가스는 추가로 또는 다르게는 MCFC 입구/출구와 열 통합될 수 있다. 용광로 오프 가스의 일부를 캐소드 공급물의 적어도 일부(또는 가능하게는 전부)로서 사용할 수 있는 한편, 용광로 오프 가스의 나머지를 대기로 방출시키고/시키거나 CO_2 배출량이 낮은 제철 또는 제강 체제에서 CO_2 포획을 위해 압축시킬 수 있다.

[0150]

다른 실시양태에서는, 애노드에 의해 생성시킨 후 H_2 및 CO를 분리할 수 있고, H_2 를 임의적으로 그러나 바람직하게 사용하여 다양한 플랜트 공정에 무-탄소 가열을 제공할 수 있는 한편, CO를 임의적으로 그러나 바람직하게 철 환원에 사용할 수 있다. 이는 전체 플랜트 내에서 더 적은 CO_2 공급원을 허용하고 캐소드 공급물 가스로서의 도입을 위한 CO_2 수집을 간단하게 할 수 있다.

[0151]

아민 포획 같은 종래의 탄소 포획 시스템에 비해 MCFC 시스템의 이점은 애노드로부터의 CO_2 를 비교적 높은 백분율(예컨대, 약 90% 이상, 또는 약 95% 이상, 부피 기준)로 포획하는 CO_2 분리 시스템의 임계성의 결여를 포함할 수 있다. 종래의 포획 기법과는 대조적으로, 포획되지 않은 임의의 탄소(CO 또는 CO_2)를 CO_2 로 전환시키고 철 환원 공정에서 캐소드 입구로 재순환시킨 다음 (전형적으로는) MCFC 막을 가로질러 애노드로 수송되어야 하는 카보네이트 이온으로 주로 전환시킬 수 있으며, 애노드에서 이들 CO_2 는 CO_2 분리 공정을 거칠 수 있다. 이러한 구성에서 시스템으로부터의 유일한 CO_2 배출은 캐소드 배기 가스로부터 나올 수 있다. 캐소드 투입물 CO_2 농도에 대한 캐소드 산출물 CO_2 농도의 비에 기초하여 플랜트의 전체 CO_2 포획 효율을 조정할 수 있으며, 이 비는 예를 들어 MCFC 어레이의 작동 스테이지의 수를 조정함으로써 및/또는 이용가능한 연료 전지 면적을 증가시키기 위하여 MCFC 전지의 수를 조정함으로써 용이하게 변할 수 있다.

[0152]

도 19는 철 환원 공정과 함께 용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 작동시키는데 적합한 구성의 일례를 도시한다. 도 19의 구성은 Fe_2O_3 및/또는 철광석의 다양한 형태에서 발결되는 다른 철 산화물 같은 철 산화물을 선철(약 95% Fe)로 환원시키는데 적합할 수 있다. 도 19에서는, 스트림(1901) 및 예열된 메탄(1902)을 MCFC(1940)의 애노드에 공급할 수 있다. 임의적으로, 그러나 바람직하게는, 용광로 오프 가스로부터 유도되는 스트림(1907)로부터의 열을 회수함으로써 열 교환기(1991)를 통해 메탄(1902)을 예열할 수 있다. 약 30%의 연료 이용률로 작동되는 MCFC 같은 MCFC(1940)는 용광로로 보내질 수 있는 애노드 배기 가스(1903) 중에 환원 기체(예컨대, CO 및 H_2)를 생성시킬 수 있다. 예를 들어 열 교환기(1992)에서 용광로 오프 가스(1906)으로부터의 열의 일부를 회수함으로써, 애노드 배기 가스(1903)를 임의적으로 그러나 바람직하게 가열할 수 있다. 가열된 애노드 배기 가스(1904)를 예열기(1993)에서 용광로 입구 가스 온도(예를 들어, 약 1200°C)까지 가열하여, 입구 가스 스트림(1905)을 생성시킬 수 있다. 용광로(1950) 상부로 철 산화물의 고체 입자를 도입(1952)하는데 종래의 방법을 이용할 수 있다. 임의적으로는, 철 생성물로부터 용이하게 분리될 수 있는 슬래그의 형성을 보조할 수 있는 용제(예컨대, CaCO_3)와 함께 철 산화물의 입자의 투입물 유동(1952)을 도입할 수 있다. 철 산화물 입자의 투입물 유동(1952)은 전형적으로는 더욱 바닥을 향한 위치에서 용광로(1950)에 들어갈 수 있는 환원 기체(1905)와 역류하여 용광로(1950)를 통해 유동할 수 있다. 환원된 Fe는 바닥 유동(1956)으로서 로를 떠날 수 있는 한편, CO_2 및 H_2O 를 포함하는 로 오프 가스는 (1906)으로서 로를 떠날 수 있다. 로 오프 가스(1906)를 공정과 통합하여 열 교환기(1992)에서 애노드 배기 가스(1903)를 가열하고/하거나 열 교환기(1991)에서 애노드 투입물 유동(1902)을 예열할 수 있다. 이러한 열 회수 공정은 냉각된 로 오프 가스 스트림(1908)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 열 회수 증기 발생기(HRSG)를 이용하여 로 오프 가스 스트림(1908)으로부터 추가의 열을 제

거할 수 있다. 압축기(1994)에서 냉각된 오프 가스 스트림(1908)으로부터 물을 응축시켜, 공정수(1909) 및 비교적 높은 CO₂ 농도를 갖는 기체(1910)를 생성시킬 수 있다. 기체(1910)는 임의적으로는 또한 약간의 메탄을 함유할 수 있다. 기체 스트림(1910)의 분획을 버너로의 공급물 스트림(1912)으로서 분할할 수 있고, 산화 공급원(공기)(1913) 및 연료(메탄)(1914)를 사용하여 태움으로써 캐소드 공급물(1915)에 적절한 온도에서 충분한 CO₂를 생성시킬 수 있다. 기체(1910)의 나머지를 CO₂ 분리기/압축 시스템으로 보내어(1911), 예를 들어 사용하고/하거나 격리시키기 위한 파이프라인 품질의 CO₂를 생성시키거나 또는 다르게는 대기로 방출시킬 수 있다. 타는 스트림(1912, 1913, 및 1914)으로부터의 약간의 열을 추가로 또는 다르게 사용하여 스트림(1904)을 가열할 수 있다. 열 회수 증기 발생기(HRSG)를 이용하여 캐소드로 보내지기 전에 (1915)에서 임의의 추가적인 열을 제거하고, 이후의 제강 공정을 위해 증기를 발생시킬 수 있다. MCFC는 편리하거나 목적하는 양의 CO₂, 예를 들어 (1915)중의 CO₂의 약 50% 이상 또는 약 70% 이상을 제거하여, CO₂가 감소된 배기 가스 스트림(1916)을 제공할 수 있다. 배기 가스 스트림(1916)을 대기로 방출시키고/시키거나 캐소드 투입물 스트림(1915)의 일부로서 다시 복귀시킬 수 있다.

[0153] 용광로와 MCFC의 통합을 위한 구성의 예

[0154] 이 예는 Fe₂O₃를 선철(95% Fe)로 환원시키는 철 용광로와 통합된 MCFC 시스템을 예시한다. 이 예의 반응 시스템 구성은 도 19에 도시된 구성과 비슷하였다. 이 예에서는, 애노드로의 메탄-증기 공급물을 사용하여 30% 연료 이용률에서 MCFC 시스템을 작동시켜 용광로용 환원 기체를 생성시켰다. 용광로 오프 가스를 MCFC 입구/출구와 열 통합시켰으며, 그의 일부를 캐소드 공급물로서 사용할 수 있는 한편 나머지를 대기로 방출시키거나 CO₂ 방출이 적은 제철/제강 체제에서 CO₂ 격리를 위해 압축시킬 수 있다.

[0155] 약 2.8M톤/년의 강 플랜트의 용광로를 작동시키기에 충분한 환원 가스를 생성시키도록 통합된 MCFC 공정의 크기를 결정하였다. 애노드 배기 가스에 기초하여 용광로용 환원 기체 공급물을 발생시키는 것 이외에, MCFC는 또한 약 233MW의 전력도 생성시켰는데, 이를 사용하여 강 플랜트의 다른 부분에 전력을 공급하고, 파이프라인 수송(예를 들어 도 19에 도시된 CO₂ 스트림(1911))을 위한 CO₂의 분리 및 압축에 전력을 공급하고/하거나 전력망으로 다시 판매할 수 있다. 도 20은 도 19에 도시된 구성과 유사한 구성을 갖는 시스템의 다양한 위치에서 유동 조성의 대표적인 값을 보여준다. 편의상, 도 19에 도시된 스트림 명칭을 사용하여 도 20의 스트림을 지칭하였다. 애노드 산출물 스트림(1903)의 조성은 약 30%의 애노드에서의 연료 이용률에 기초하였음에 주목한다. 스트림(1904, 1905)의 상대적인 조성 변화는 수성 가스 전화 반응을 통한 평형상태에 기인한 것이었다. 용광로 오프 가스(1906)의 조성은 용광로에서 환원 기체의 약 100%의 시물레이션된 소비에 기초한 반면, 로에서 메탄은 소비되지 않았음에 주목한다. 실제 시스템에서는, 과량의 환원 기체를 사용하여 공정 안정성을 제공할 수 있다. 또한, 이미 환원된 철과의 반응을 통해 용광로에서 소량의 메탄이 소비되어 철에 미량의 추가적인 탄소를 도입하고 추가적인 H₂를 생성시킬 수 있다. 그러나, 이 용광로 오프 가스(1906)의 조성에 대한 이상화된 계산은 에너지 함량 및 조성에 대한 대표적인 값을 제공한다.

[0156] 유사한 크기의 강 플랜트의 종래의 구성이 아라스토(Arasto) 등의 논문[제목: 통합된 강 밀에서의 CO₂의 연소 후 포획 - 제1부: 기술적인 개념 분석; 아라스토아(Antti Arasto), 스파리아(Eemeli Tsuparia), 카르키아(Janne Karkia), 피질래(Erkki Pisila), 소르사메키아(Lotta Sorsamakia), International Journal of Greenhouse Gas Control, 16, (2013), p. 271-277]에 보고되었음에 주목한다. 아라스토 등의 구성은 전통적인 석탄 버너 및 용광로로부터 열을 회수한 HRSG-터빈 시스템으로 135MW를 생성시켰다. 이는 약 2.8M톤/년의 강 플랜트를 작동시키고 지역 사회에 전기를 제공하고 일부를 전력망으로 반출하기에 충분하였다. 대조적으로, 강 플랜트의 과량의 열로부터 전력을 발생시키는 것과는 대조적으로 메탄 공급물 상에서의 발전을 위해 MCFC를 이용함으로써, 이 예에서의 MCFC는 약 233MW의 전력을 발생시켰다. 아라스토 등에 보고된 종래의 강 플랜트 구성과 비교하여, 통합된 MCFC-용광로 시스템은 더 많은 전력을 생성시킬 수 있을 뿐만 아니라 CO₂ 방출을 65% 이상까지 감소시킬 수 있다.

[0157] 정유소 수소 사용과 통합된 MCFC 및 "무탄소" 수소

[0158] 수소는 다양한 목적으로 정유소에서 사용될 수 있다. 대부분의 정유소는 일부 공정(예를 들어, 방향족 화합물을 생성시키기 위한 가솔린 개질)에서 수소를 발생시키고 다른 공정(예컨대, 가솔린 및 디젤 블렌딩 스트림으로부터의 황 제거)에서 수소를 사용한다. 또한, 정유소는 다수개의 보일러, 로 및/또는 에너지를 필요로 하는 반

을기를 가열하기 위한 다른 시스템을 가질 수 있다. 이들 가열 및/또는 에너지 발생 시스템은 통상적으로 수소를 이용하지 않는데, 왜냐하면 수소는 통상적으로 다른 연료 공급원보다 더 비쌀 수 있고 전체 기준으로 대부분의 정유소가 수소의 순 구입처이기 때문이다. 일반적으로, 현장에 건축함으로써 및/또는 수소 인근/파이프라인 공급원에 근접하여 수소 구입을 수행하여, 전체 정유소를 균형잡히게 할 수 있다.

[0159]

대부분의 정유 공정이 전형적으로는 승온에서 이루어지고 통상 다양한 종류의 보일러에 의해 제공되는 열(및 공정 증기)을 필요로 하기 때문에, 정유소는 통상 다수개의 가열 시스템을 함유한다. 이는 크기 면에서 크게 다룰 수 있는 다수개의 CO₂ 공급원 지점을 야기할 수 있다. 촉매 분해 같은 몇몇은 다량의 CO₂를 생성시킬 수 있는 반면, 나머지는 적당량을 생성시킬 수 있다. 이들 CO₂의 공급원 지점은 각각 전체 정유소 CO₂ 생산에 기여할 수 있다. 대부분의 통합된 정유소가 전형적으로 원유를 제품으로 전환시킴에 있어서 전체 기준으로 약 70 내지 95%의 열 효율성을 갖기 때문에, 전형적으로 정유소 원유 또는 다른 투입물에 들어가는 탄소의 약 5 내지 30%는 CO₂로서 (공기중으로) 배출될 수 있다. 이들 배출물을 감소시키면, 생성되는 단위 생성물당 정유소 온실 가스 방출을 개선할 수 있다.

[0160]

다양한 양태에서, 정유소 수소 공급과 MCFC 시스템의 통합은 전체 정유소 작동에 대한 수소 제한을 감소시키거나 최소화하거나 없앨 수 있다. 추가로 또는 다르게는, MCFC 시스템은 "깨끗한" 경질 기체 및 합성 가스 혼합물로 전환될 수 있지만 한다면 투입물로서 임의의 다양한 오프-가스 및/또는 다른 스트림을 사용할 수 있다. 존재하는 불활성 물질(예를 들어, N₂, CO₂ 등, 및 이들의 조합)의 양에 대한 큰 제한 없이 경질 기체 및/또는 합성 가스 혼합물을 사용할 수 있음에 주목한다. 이 "투입물 통합"은 추가로 또는 다르게는 정유소 작동에서 전체 효율을 능률화시킴에 있어서의 특징일 수 있다. 더욱 통상적으로, MCFC 시스템은 정유소 작동의 다음 네 가지(또는 가능하게는 그 이상의) 양태에 하나의 통합된 해결책을 제공할 수 있다: 공정 단위장치용 열의 생성, 반응물로서의 수소의 생성, 탄소의 수집 및 격리, 및 다양한 공정으로부터의 오프-가스 및 퍼지 스트림의 효율적인 사용.

[0161]

일부 양태에서는, 정유소의 버너에서 연료로서 H₂를 사용하여 CO₂ 배출 공급원 지점을 감소시키거나 최소화하거나 또는 없앨 수 있다. 두 목적 모두를 위한 H₂의 집중된 공급은 연료 및 반응물의 수 및 유형을 감소시킴으로써 전체 정유소 작동을 간소화시킬 수 있다. 즉, 이들 목적을 위해 한 가지 물질만 분배될 수 있다. 예를 들면, 수소를 다양한 온도 및 압력에서 사용할 수 있다. MCFC 시스템은 물 및 CO₂의 (임의적인) 분리 및 압력-변동 흡착 같은 임의의 통상적인 방법을 통한 추가적인 (임의적인) 정제 후 애노드 배기 가스 스트림으로부터 수소를 생성시킬 수 있다. H₂ 약 80부피% 이상, 또는 약 90부피% 이상, 또는 95부피% 이상 또는 98부피% 이상의 순도 같은 전형적인 정유소 조건까지 정제한 후, 수소-함유 스트림을 공정에서의 사용을 위해 적절한 압력으로 가압하고 임의의 공정으로 파이프를 통해 전달/수송할 수 있다. 수소-함유 스트림을 다수개의 스트림으로 분할할 수 있고, 이 때 보다 저순도 및/또는 저압 스트림은 몇몇 공정 또는 버너로 보낼 수 있는 한편, 보다 고순도 및/또는 고압 스트림은 다른 공정으로 보낼 수 있다.

[0162]

통합된 시스템은 추가로 또는 다르게는, 그러나 전형적으로 유리하게는 전기를 생성시킬 수 있다. 전기 생성을 이용하여 분리 시스템 또는 압축기 같은 MCFC-관련 시스템에 적어도 부분적으로 전력을 공급할 뿐만 아니라 정유소 전기 수요의 적어도 일부(예컨대, 전부까지)에 전력을 공급할 수 있다. 이 전기는 전송 손실이 거의 또는 전혀 없이 비교적 높은 효율로 생성될 수 있다. 또한, 예컨대 DC 전력이 변압기/인버터에서의 통상적인 손실 없이 몇몇 시스템의 작동에 바람직할 수 있는 경우에는, 이 전기의 일부 또는 전부를 임의적으로 직류(DC) 전기로 유도할 수 있다. 일부 양태에서는, 정유소에서 요구되는 전력의 적어도 일부(또는 전부)가 제공될 수 있도록, 또는 심지어는 과량의 전력이 제공될 수 있도록, MCFC 시스템의 크기를 결정할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 목적하는 H₂/열 부하까지 및/또는 전기 부하까지 MCFC 시스템의 크기를 결정할 수 있다. 또한, 광범위한 조건에 걸쳐 시스템을 작동시켜, 전기 수요 및 수소 수요의 양을 변화시킬 수 있다.

[0163]

CO₂를 생성하는 정유 공정의 적어도 일부, 예컨대 CO₂ 생산 공정의 대다수 또는 CO₂ 생산 공정의 전부를 캐소드 입구용 기체의 일부 또는 전부로서 수집 및 사용할 수 있다. 필요한 경우, 이들 기체를 공기 또는 다른 산소 함유 스트림과 혼합하여 캐소드 입구에 적절한 CO₂ 및 산소를 갖는 가스 혼합물을 포함시킬 수 있다. 이들 스트림에 존재하는 연료 구성성분을 전형적으로는 과량의 산소/공기로 태워서, 캐소드 입구 스트림을 예열할 수 있다. 전체 캐소드 입구 스트림의 CO₂ 농도는 광범위하게 변할 수 있으며, 전형적으로는 약 4부피% 이상, 예를

들어 약 6부피% 이상, 약 8부피% 이상, 또는 약 10부피% 이상일 수 있다. 수집된 스트림이 MCFC 작동에 충분한 CO₂ 농도를 함유하지 않는 경우(또는 심지어 함유하는 경우에도), 애노드 배기 가스의 분리에서 및/또는 분리 공정으로부터의 하나 이상의 오프-가스 또는 퍼지 스트림으로부터 생성되는 CO₂를 캐소드 입구로 재순환시킬 수 있다. 캐소드 입구 스트림용 열은 이들 스트림에서의 오프-가스의 연소, 열 교환, 및/또는 연소성 연료 성분의 첨가로부터 생길 수 있다. 예를 들어, 일부 양태에서는, MCFC 시스템이 코크스 또는 석유 코크스 같은 고탄소 물질, 및/또는 석유 공정으로부터의 다른 "바닥" 생성물을 사용하여, 입구 스트림용 열을 제공하고, 이 때 이들 물질로부터의 연소 생성물을 캐소드용 CO₂ 공급원으로서 사용할 수 있다.

[0164]

추가로 또는 다르게는, 연료로서 메탄/천연 가스를 사용할 수 있는 터빈 같은 연소 터빈에 의해 캐소드 입구 스트림용 CO₂의 적어도 일부를 제공할 수 있다. 이 유형의 구성에서, 촉매에 의한 분해 같은 공정에 의해 발생하는 CO₂는 경감되지 않을 수 있으나, 히터, 보일러 및/또는 다른 버너에 의해 발생하는 CO₂는 MCFC에 의해 발생하는 H₂를 사용함으로써 감소되거나 최소화될 수 있다.

[0165]

애노드 출구 스트림은 높은 농도의 이산화탄소 및 다른 합성 가스 성분을 함유할 수 있다. 전형적으로는, 이 스트림으로부터 CO₂를 효율적으로 제거하여, 다양한 다른 공정에 사용될 수 있는 CO₂ 생성물을 생성시킬 수 있다. 정유소로부터 생성된 이산화탄소의 상당한 분획이 MCFC 애노드로부터 방출될 수 있기 때문에, CO₂의 수집은 효율적이고 크게 간소화될 수 있다. 단일 지점 공급원으로서의 CO₂의 수집을 다른 작업(예를 들어, 유전 근처에 있는 경우 EOR, 유정으로의 재주입)에 이용할 수 있고/있거나 포획/격리시킬 수 있다. 전체 CO₂ 부하의 대다수, 예컨대 약 70% 이상, 또는 약 80% 이상을 H₂ 생산 및 전기 용도로 제거함으로써, 정유소 작동의 온실 가스 영향을 실질적으로 감소시킬 수 있고, 단일 공정 내에 전기, 수소 및 열의 고효율 공급원을 부가함으로써 전체 정유소 효율(원유의 제품으로의 전환률)을 개선할 수 있다.

[0166]

MCFC 시스템을 정유소의 수소 전달 시스템과 통합하는 양태에서, MCFC 시스템의 애노드 투입물은, C2+를 감소시키기 위해 예비 개질되는 경질 기체; 메탄; 기화된 코크스 또는 역청 같은 기화된 중질 물질; 및/또는 황 및 다른 유해한 불순물을 제거할 수 있는 임의의 다른 탄화수소계 물질; 뿐만 아니라 이들의 조합 같은, 다양한 정유 공정으로부터 입수가 가능한 다양한 물질로부터 선택될 수 있다. 그러므로, 적절한 예비 세정을 이용하는 MCFC 시스템은 정유소에서 효율적으로 또는 효과적으로 이용되지 못하는 모든 종류의 투입물의 "폐기장소"로서 작용할 수 있다. 궁극적으로 대기로 배출되는 대신, 임의적으로 연료로서 태워진 후, 이들 "폐"스트림, "퍼지" 스트림 또는 다른 바람직하지 못한 스트림중 탄소의 우세한 양을 시스템에 의해 분리된 CO₂로서 효과적으로 농축/포획할 수 있다. 캐소드 투입물은 CO₂ 오프-가스 및 애노드 배기 가스로부터 또는 열 교환을 위해 사용되는 연소되는 신선한 메탄으로부터의 임의의 재순환을 함유하는 임의의 정유소 스트림일 수 있거나 이들 스트림을 포함할 수 있다. 대부분의 정유소는 다양한 온도에서 작동되는 다양한 공정을 갖는 바, 냉각 및 가열을 관리하기 위하여, 예컨대 없애기 위하여, 일부 열 통합에 적절한 정유 공정을 선택할 수 있다. 캐소드 배기 가스는 통상 대기로 배출될 수 있다. 애노드 배기 가스는 그 자체로, 임의적으로는 일부 성분의 분리 후에 사용될 수 있고/있거나, 분리 및 수성 가스 전화를 거쳐 거의 모두가 H₂인 스트림을 생성시킬 수 있다. 이 높은 H₂ 함량의 스트림은 다양한 반응성 공정에 요구되는 수준까지 정제될 수 있는 한편, 이러한 스트림의 연소가 탄화수소계 연료의 연소에 비해 이산화탄소 배출이 적을 수 있기 때문에, 연소 H₂는 더 높은 수준의 잔류 CO, CO₂ 등을 함유할 수 있다. 예를 들어 캐소드로의 투입물로서 사용하기 위하여, 애노드 배기 가스로부터 분리된 CO₂를 임의적으로 재순환시킬 수 있다. 또한 또는 다르게는, 애노드로의 공급물은 큰 CO₂ 함량을 갖는 천연 가스 같은 큰 CO₂ 불순물을 갖는 공급물을 포함할 수 있다. 통상적인 정유소 작동의 경우, 이 유형의 스트림은 열 또는 수소 발생에 사용되는 경우 정유소로부터의 CO₂ 배출을 증가시킬 수 있다. 그러나, MCFC 시스템의 애노드에 공급되는 경우, 분리 스테이지(들)가 이 추가적인 CO₂를 애노드 배기 가스의 다른 CO₂의 제거의 일부로서 효과적으로 제거할 수 있다.

[0167]

정유소에서 이질적인 CO₂ 공급원으로부터의 탄소를 포획하는데 있어서의 추가적인 어려움은 정유소 스트림에 흔히 존재하는 CO₂의 낮은 농도일 수 있다. 일반적으로, 기체 스트림으로부터 CO₂를 분리하는데 요구되는 에너지는 스트림중 CO₂의 농도에 따라 크게 달라진다. 약 10부피% 이하의 CO₂ 농도 같은 낮은 CO₂ 농도를 갖는 기체

스트림을 발생시키는 공정의 경우, 스트림으로부터 CO₂를 분리하여 고순도 CO₂ 스트림을 형성시키는데 상당한 에너지를 필요로 할 수 있다. 대조적으로, MCFC 함유 시스템의 특징은 CO₂가 비교적 낮은 농도의 스트림(예컨대, 캐소드 입구 스트림)으로부터 비교적 높은 농도의 스트림(예컨대, 애노드 배기 가스)으로 전달될 수 있다는 것일 수 있다. 이는 고순도 CO₂ 기체 스트림을 형성하기 위한 에너지 요구량을 감소시킬 수 있다. 그 결과, MCFC는 예컨대 격리를 위해 CO₂-함유 스트림을 형성하고자 하는 경우 상당한 에너지를 절감할 수 있다.

[0168]

MCFC에 의해 직접 생산되는 산출물 전기는 전형적으로 DC 전력일 수 있으나, 다양한 전류 및 전압 세팅의 DC 및/또는 AC 전력의 임의의 편리한 혼합물을 생성시키도록 구성될 수도 있다. 전형적으로, 정유소용 발전소/투입물 전기는 공통적인 고압 AC 전류(예컨대, 약 960V)일 수 있다. 용융 카보네이트 연료 전지가 제작되는 방식 때문에, 본질적으로 임의의 DC 전류/전압을 생성시킬 수 있고, 변환시 다양한 AC 전압을 생성시킬 수 있다. 국지적으로 생성되는 DC는 장거리 전력선에 전형적인 송전 손실이 없어야 하고 상당한 비용 및 약간의 효율 손실에서의 인버터를 필요로 하지 않아야 한다. 이는 압축기, 펌프 및 다른 구성요소를 디자인하는데 약간의 융통성을 제공할 수 있고/있거나 다수의 전력망 및/또는 국부적인 전기 비효율을 없앨 수 있다.

[0169]

정유소 내에서 사용하는 것 이외에, 수소는 다양한 생성물 및 공정에 더욱 통상적으로 유용할 수 있는데, 왜냐하면 수소는 연소시 수증기만 생성시키기 때문이다. 그러나, 수소를 제조하기 위한 대부분의 종래의 접근법은 다량의 탄소 배출을 필요로 한다. 예를 들어, 메탄의 증기 개질로부터의 수소 생성은 전형적으로 CO₂(메탄의 탄소로부터) 및 폐열을 생성시킬 수 있다. 전기분해로부터의 수소의 생성은 전형적으로 화석 연료 혼합물로부터 유래될 수 있는 전기의 전력망으로의 생성을 필요로 할 수 있다. 이들 생산 시스템은 모두 CO₂를 포함하는 배출물을 야기할 수 있다. 더욱 폭 넓은 정유소 작동으로의 임의의 편리한 통합이 없으면, 탄소 포획이 필요한 경우 배출가스는 전형적으로 다양한 공급원에서 별도의 탄소 포획 시스템을 수반한다. 전형적으로, 이들 공급원은 실제로 정유소 게이트 외부에 있어서, 다양한 화학적, 전기적 및 열 투입물 및 산출물의 상승작용적인 생산/소비를 거의 또는 전혀 허용하지 않을 수 있다.

[0170]

추가로 또는 다르게는, 본 발명에 따른 MCFC 함유 시스템은 분리 및 수소 정제 단계의 통합된 일부로서 공정으로부터 효율적으로 CO₂를 분리하는 수단을 제공할 수 있다. 이어, CO₂를 포획하고/하거나 다른 유용한 공정에 사용할 수 있다. 이는, 특히 소규모에서 가변적인 부하하에 순 수소 반출을 생성하는 종래의 수단보다 훨씬 더 높은 전체 시스템 효율로 이루어질 수 있다.

[0171]

전력 또는 열을 발생시킬 수 있는 후속 공정에 사용하기 위한 수소를 생산하는데 MCFC 시스템을 이용하면, 비교적 높은 효율로 또한 낮은(최소한의) 탄소 배출로 비교적 저공해 생산을 가능케 한다. MCFC 시스템은 화학적 에너지 생산 대 전기 에너지 생산의 비를 조정함으로써 수소에 대한 변화하는 요구에 동적으로 응답할 수 있고, 부하 및 요구량이 대략 일정하지 않을 수 있는(과량의 수소 없이 순수한 전력 생산으로부터 다량의 수소 생산까지 변화하는) 용도에 이상적일 수 있다. 또한, 통합된 MCFC 시스템은 메탄 증기 개질기 같은 보다 큰 규모의 시스템보다 비교적 높은 효율로 폭 넓은 용도에 걸쳐 확장될 수 있다.

[0172]

MCFC-수소 생산 시스템은, 수소를 열량값 목적에 맞게 맞들으로써 탄소 포획 없이 종래의 시스템보다 더 적은 순 CO₂ 배출을 생성시킬 수 있고 고유한 시스템 CO₂ 분리를 이용하여 훨씬 더 적은 배출물을 생성시킬 수 있는 이점을 가질 수 있다. 이는 다양한 용도에서 중요할 수 있다. 저온/저압 수소를 사용할 수 있는 연료 전지 차량을 위해 수소를 생성시킬 수 있다. 전체적인 높은 시스템 효율을 유지하는 전체적인 수요에 따라 수소 및 전기의 양이 변화될 수 있다. 보일러 및/또는 다른 통합된 열 및 전력 시스템으로 반출하기 위한 수소는 수소의 생산 및 히터/보일러 및 유사한 시스템에서의 후속 연소를 통해 다양한 양의 무탄소 열과 함께 전기를 일정하게 생산하도록 할 수 있다(예컨대, 독립 생산). 예를 들어, 설비는 에어 컨디셔닝 시스템을 위해 여름에는 주로 전기를 생성시킬 수 있는 한편 가열 작동을 위해 겨울에는 주로 화학 에너지의 혼합으로 변환될 수 있다. 다른 용도는 전기 에너지에 대한 요구와 함께 약간의 수소가 유리할 수 있는 실험실 및 다른 기술 및 제조 설비에서와 같은 현장에서의 수소를 제공하도록 디자인된 시스템을 포함할 수 있다.

[0173]

수소 생산 및/또는 발전을 포함하는 양태에서는, 신선한 메탄, 다른 적합한 탄화수소 연료 및/또는 신선한 연료와 다양한 공정으로부터 재순환된 CO 및/또는 H₂의 조합을 애노드 입구에 공급할 수 있다. H₂ 및/또는 CO를 포함하는 애노드 출구 스트림은 수소를 생성하는 성분을 제공할 수 있다. 이는 전형적으로 반응, 분리 및 정제 단계의 일부 조합을 통해 수행될 수 있다. 예는 수성 가스 전화를 이용하여 H₂O+CO=H₂+CO₂ 반응에 의해 가능한

한 많은 CO를 H₂로 전화시키는 제 1 단계 후, H₂로부터 H₂O 및 CO₂를 제거하고 적합한 순도의 생성물을 제공하는 제 2(및 후속) 단계(들)이다. 이러한 스테이지는 PSA, 극저온 분리, 막 및 다른 공지의 분리 방법을 개별적으로 또는 함께 포함할 수 있다. 이들 단계로부터의 오프-가스를 재순환시키고/시키거나 사용하여 입구 스트림용 열을 제공할 수 있다. 분리된 CO₂를 재순환 스트림으로서 사용할 수 있고/있거나 다른 공정을 위해 포획 및/또는 사용할 수 있다. 캐소드 입구 스트림은 전체 공정으로부터 재순환된 CO₂ 및/또는 입구 스트림에 열을 제공하기 위해 사용되는 신선한(또는 재순환된) 연료의 연소에 의해 생성되는 CO₂로 구성될 수 있다. 임의적으로는, 그러나 바람직하게는, 예를 들어 다른 공정 스트림을 위해 및/또는 복합 사이클 전기 생산에 열을 제공하기 위한 열 회수 후에 캐소드 배출물을 전형적으로 대기로 배출시킬 수 있으나, 캐소드 배출물을 임의적으로 그러나 덜 바람직하게는 필요한 경우 추가적인 처리를 위해 보낼 수 있다.

[0174]

무탄소 열 및 전력 용도와 통합된 MCFC는 보다 적은 수소를 제조하는 연료 이용률(예컨대, 60 내지 70%)부터 높은 수소 생산을 위한 더 낮은 연료 이용률(예를 들어, 20 내지 30%)까지 이르는 광범위한 작동 조건에 걸쳐 사용될 수 있다. 개별적인 용도의 정확한 작동 범위는 용도 및 시간에 따라 광범위하게 변할 수 있다. 이 작동 범위에 적합화되는 능력은 바람직한 이점일 수 있다. 분리 스테이지의 수 및/또는 획득되는 순도는 궁극적인 용도에 따라 달라질 수 있다. 배출물이 적은 열을 위한 수소의 간단한 생산은 수소중 보통의 불순물을 허용할 수 있는데, 수%의 CO₂ 및/또는 CO라도 여전히 매우 낮은 전체 배출량을 나타낼 수 있기 때문이다. 연료 전지 차량 및/또는 실험실용 수소 같은 고 정제 용도는 순도 규정을 획득하기 위하여 다수의 단계(예컨대, 극저온 분리 후 PSA)를 필요로 할 수 있다.

[0175]

다수의 정유 공정에 수소를 제공하는 예로서, MCFC를 작동시켜 전기 및 H₂, CO₂ 및 H₂O를 함유하는 애노드 배기 가스를 발생시킬 수 있다. 1회 이상의 분리를 이용하여 애노드 배기 가스(또는 다르게는 애노드 배기 가스로부터 유도되는 기체 스트림)으로부터 CO₂ 및/또는 H₂O를 분리할 수 있다. 이는 애노드 배기 가스에 대해 더 높은 H₂ 부피%를 갖는 제 1 기체 스트림을 생성시킬 수 있다. 이어, 제 1 기체 스트림에서 분리를 수행하여, 제 1 기체 스트림보다 더 높은 부피%의 H₂를 갖는 제 2 기체 스트림을 형성시킬 수 있다. 이어, 제 1 기체 스트림의 나머지 부분을 수소에 대해 덜 엄격한 조건을 갖는 공정에 사용하기 위하여 제 1 압력으로 압축시킬 수 있는 한편, 제 2 기체 스트림을 더 높은 압력 및/또는 더 높은 순도의 수소 투입물을 필요로 하는 공정에 사용하기 위하여 제 2의 (더 높은) 압력으로 압축시킬 수 있다.

[0176]

예-정유소 수소 공급과 MCFC의 통합

[0177]

하기 예에서는, 다양한 버너, 보일러 및/또는 에너지 공급원으로서 연료의 조합을 사용하는 다른 단위장치에 공급하기 위한 수소의 공급원으로서 MCFC 시스템을 사용하는 구성에 대해 계산을 수행하였다. 하기 예는 수소를 연소 반응에 공급하는데 초점을 맞추고 있지만, MCFC에 의해 생성되는 수소는 추가로 또는 다르게는 연소 외의 목적을 위해 탄화수소를 사용할 수 있는 하나 이상의 공정(예를 들어, 복수개의 공정)에 공급하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, MCFC에 의해 발생된 수소는 정유소 내에서 하나 이상의 가수소 가공 반응에 사용될 수 있다.

[0178]

하기 예에서는, CO₂의 외부 공급원을 사용함에 기초하여 캐소드용 CO₂를 계산하였다. 각각의 가능한 탄소 공급원 지점에 대해 종래의 아민 세척을 사용하는 것과 같은 다른 방법을 통해 CO₂를 포획하고자 시도함에 비해, CO₂ 배출을 감소시키기 위해 MCFC를 사용하는 에너지 이점을 입증함에 있어서, 편의를 위해 이렇게 선택하였다. 비교하기 위하여, 비교적 묶은 CO₂ 스트림(예를 들어, 약 10부피% 이하의 CO₂를 갖는 스트림)으로부터 CO₂를 포획하기 위해 모노에탄올아민(MEA)을 사용함에 기초하여 아민 세척을 이용하는데 예상되는 전형적인 에너지 비용을 약 3GJ/톤 CO₂ 로 추정하였다. MCFC를 이용하여 애노드 배기 가스 스트림 중에 CO₂를 농축시킴으로써 이 에너지 비용의 상당 부분을 피할 수 있다. 캐소드 투입물의 일부로서 사용하기 위해 정유소 내에서 다양한 공급원 지점으로부터 CO₂를 수집하는 실시양태에서는, CO₂ 스트림을 MCFC로 전달하는데 약간의 추가적인 에너지 비용을 필요로 할 수 있음에 주목한다. 그러나, 이들 비용은 별도의 아민 세척을 필요로 하여 중심 아민 세척에 CO₂를 전달하는 것과 비슷한 비용을 야기하는 종래의 구성에 요구되는 추가적인 에너지 비효율성에 의해, 및/또는 각각의 CO₂ 공급원 지점에 대해 별도의 아민 세척을 가짐으로써 야기되는 추가적인 에너지 비효율성에 의해 적어도 대략 또는 거의 상쇄될 수 있다(초과되지 않는다 하더라도).

- [0179] 하기 구성 예는 MCFC를 작동시켜 정유소에서 소비를 위해 수소를 제공하기 위한 두 가지 선택사항을 제공한다. 제 1 구성에 대한 계산에서는, 터빈을 이용하여 전기를 생산하고 캐소드 투입물용 CO₂의 공급원을 제공하였다. 제 2 구성에 대한 계산에서는, 추가적인 메탄을 연소시켜 연료 전지를 작동시키기 위한 열 및 CO₂를 제공하였다. 두 구성 모두에서, 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스를 처리하여 CO₂(예를 들어, 격리시키기 위해)를 H₂(정유소에서 연료에 사용됨)로부터 분리하였다.
- [0180] 이들 예에서는, 원유 약 500kbd를 처리할 수 있는 전형적인 정유소의 열 요구량을 공급하기 위하여 계산을 수행하였다. 약 500kbd의 정유 용량을 갖는 정유소는 시스템을 가열하는데 약 118Mscf/d(또는 약 $3.34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{일}$)의 천연 가스를 사용할 수 있는데, 이는 포획/격리 메카니즘이 사용되지 않는 경우 연소로부터 약 118Mscf/d의 CO₂를 배출시킬 수 있다. 하기 예는 약 500kbd 시스템에서 정유소 가스 연소식 히터 시스템과 MCFC 공정을 통합하여 낮은 CO₂ 배출량과 함께 분산 가열을 제공할 수 있다.
- [0181] 도 21은 연소 가스 터빈, MCFC 시스템 및 H₂를 연소시키는 정유소 와이드 연소식 히터를 사용한 통합 가공 시스템의 예를 개략적으로 도시한다. 도 21의 시스템은 터빈이 캐소드에서 요구되는 CO₂ 공급물을 발생시켜 정유소 가열 시스템을 작동시키기에 충분한 H₂를 MCFC 시스템에 제공할 수 있도록 구성된다. 공기(2101) 및 메탄(2102)을 연소 가스 터빈(2150)에 공급하고 연소시켜 고온의 캐소드 공급물(2103)을 생성시켰다. 고온의 캐소드 공급물(2103)에서의 과량의 열을 사용하여 애노드 메탄 공급물(2104)을 예열하였고, 이를 다시 MCFC(2140)의 캐소드로 공급할 수 있다(2105). 애노드 메탄 공급물(2104) 및 스트림(2106)을 MCFC(2140)의 애노드로 공급하였다. MCFC는 고온에서 낮은 CO₂ 함량의 캐소드 배기 가스(2107)를 생성시킬 수 있다. 양태에 따라, MCFC는 낮은 연료 이용률(예를 들어, 약 25% 내지 약 60%, 예컨대 약 30% 이상, 또는 약 40% 이상, 또는 약 50% 이하, 또는 약 40% 이하의 연료 이용률)에서 작동시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 더욱 편리한 연료 이용률(예를 들어, 약 70% 이상, 편리한 연료 이용률은 전형적으로 70% 내지 75%일 수 있지만)에서 MCFC를 작동시킬 수 있으나, 이는 애노드 배기 가스로부터 회수될 수 있는 가능한 H₂의 양을 감소시킬 수 있기 때문에 덜 바람직할 수 있다. 캐소드 배기 가스를 대기로 배출시키기(또는 추가로 처리하기) 전에, HRSG(열 회수 증기 발생 시스템)에서 캐소드 배기 가스(2107)로부터 열을 회수할 수 있다. 애노드 배기 가스(2108)를 HRSG에서 냉각시킬 수 있고/있거나 수성 가스 전화 반응 스테이지(2160)에서 전화시킬 수 있다. 전화된 가스(2109), 주로 H₂ 및 CO₂는 분리 단위장치(2170)로 진행되어 CO₂ 스트림(2110) 및 H₂ 스트림(2111)을 생성시킬 수 있다. CO₂ 스트림(2110)을 압축시키고 사용하기 위해 판매하고/하거나 격리시킬 수 있다. H₂ 스트림(2111)을 가열 연료로서 정유소 히터에 분배할 수 있다. H₂ 스트림(2111)의 각각의 부속 스트림을 정유소의 하나 이상의 위치에 위치하는 버너(2180)에서 산화제(공기)(2112)로 연소시켜, 실질적으로 CO₂를 배출시키지 않으면서 열을 제공할 수 있다. 도 21과 유사한 구성에 있어서, 도 22는 구성 내에서의 유동 부피에 대해 대표적인 값을 보여준다.
- [0182] 도 23은 메탄 및 수소 버너를 갖는 정유소 연소식 히터와 MCFC 시스템을 사용한 통합 가공용 시스템의 다른 예를 개략적으로 도시한다. 이 시스템은 메탄 버너가 나머지 수소 버너를 작동시키기에 충분한 H₂를 MCFC 시스템에서 생성시키기 위하여 캐소드에서 요구되는 CO₂ 공급물을 생성시키도록 구성될 수 있다. 메탄(2301) 및 산화제(공기)(2302)를 메탄 버너(2390)에 분배시킬 수 있다. 오프-가스(2303)를 메탄 버너로부터 수집하고 공급물 예열기(2345)로 보낼 수 있다. 메탄(2304), 산화제(공기)(2305) 및 오프-가스(2303)를 예열기(2345)에서 연소시켜 고온의 캐소드 공급물(2306)을 생성시킬 수 있다. (2306)에서의 과량의 열을 사용하여 애노드 (메탄) 공급물(2307)을 예열하고 (2308)에서 캐소드에 공급할 수 있다. 예열된 메탄(2309) 및 증기(2310)를 애노드로 공급하였다. MCFC(2350)는 비교적 고온에서 낮은 CO₂ 함량의 캐소드 배기 가스(2311)를 생성시킬 수 있다. 예를 들어 대기로 배출되거나 추가적인 처리(도시되지 않음)를 위해 보내지기 전에 열을 HRSG에서 캐소드 배기 가스(2311)로부터 회수할 수 있다. 애노드 배기 가스(2312)를 HRSG에서 냉각시키고 (2360)에서 전화시킬 수 있다. 전화된 가스(2313), 주로 H₂ 및 CO₂를 분리 단위장치(2370)을 통해 통과시켜 CO₂ 스트림(2314) 및 H₂ 스트림(2315)을 생성시킬 수 있다. H₂ 스트림(2315)을 수소 버너(2380)로 분배시킬 수 있다. 각각의 부속 스트림을 정유소에서 하나 이상의 위치에 위치할 수 있는 버너(2380)에서 산화제(공기)(2316)로 연소시켜, 실질적으로 CO₂를 배출시키지 않으면서 열을 제공할 수 있다. 도 23과 유사한 구성에 대해, 도 24는 이 구성 내에서 유동

부피에 대해 대표적인 값을 보여준다.

[0183] 도 21 및 도 23과 유사한 구성에 기초하여, 또한 도 22 및 도 24와 유사한 공정 유동에 기초하여, MCFC와 통합된 정유소의 탄소를 격리시키기 위해 상대적인 순 전력 생산을 계산하였다. 이를, 아민 세척 시스템이 각 공급원 지점의 탄소 포획에 사용된 종래의 정유소 시스템의 순 전력 생산에 대한 계산과 비교하였다. 상기 나타낸 바와 같이, 전형적인 묶은 정유소 스트림(예를 들어, 약 2부피% 내지 약 8부피%의 CO₂를 함유하는 스트림)으로부터 CO₂를 포획하는데 대표적인 아민 세척(예컨대, MEA를 사용하여)을 이용하는 데에는 약 3GJ/톤 CO₂를 필요로 할 수 있는 것으로 결정되었다. 표 2는 종래의 아민 세척 방법에 대한 도 21 및 23과 유사한 본 발명의 구성의 비교를 보여준다. 표 2의 비교에서, % CO₂ 배출 감소는 MCFC의 애노드를 통해 통과하는 탄소의 백분율을 나타낸다. 표 2에 도시된 계산된 값에 기초하여, MCFC를 이용하여 정유소 버너용 H₂를 제공하고 CO₂를 중점적으로 분리하면, 추가적인 입수가능한 전력을 생성시킬 수 있다. 이는 종래의 구성을 이용하여 CO₂를 분리하기 위해 요구되는 상당한 전력과 크게 대비될 수 있다.

[0184] [표 2]

[0185] 탄소 포획 및 순 전력 생산

	구성 1	구성 2
% CO ₂ 배출 감소	55.98%	86%
MCFC 발전을 이용한 순 전력[MW]	110	36
MEA 포획을 이용한 순 전력[MW]	-115	-180

[0186]

[0187] MCFC 시스템과 통합된 저온 연소 배기 가스 공급원

[0188] 저온 연소 배기 가스 공급원은 연료 전지에서 사용되기 전에 냉각되어야 하는 CO₂ 및 O₂(또는 가능하게는 공기를 첨가하면서 오로지 CO₂)를 함유하는 임의의 스트림을 포함할 수 있다. 일반적으로, 이는 캐소드 상의 Ni 촉매를 오염시키는 일부 오염물질(예를 들어, 황, 금속)을 갖는 직접적인 결과일 수 있다. 여기에서, 소량의 NO_x 또는 SO_x는 전형적으로 캐소드 Ni 촉매의 독소로 생각되지 않는다. 높은 수준의 오염물질을 함유하는 연소 배기 가스 공급원의 경우, 원래 연소 배기 가스는 불순물이 제거될 수 있는 온도로 냉각되어야 하고, 이어 예컨대 캐소드 배기 가스와의 열 교환을 통해 MCFC 작동 온도까지 재가열될 수 있다.

[0189] 저온 연소 배기 가스 공급원의 예는 석탄 발전소 및 리그닌 연소식 연소(예컨대, 목재 및 다른 생물질 연소) 같은 석탄-연소식 연소 공급원을 포함할 수 있다. 다른 "더러운" 연료는 벙커 연료 같은 석유로부터 유도되는 중질 연료 또는 세정시켜야 하기에 충분한 불순물이 존재하는 다른 중질 해양 연료를 포함한다.

[0190] 통합된 시스템은 다른 방식으로 가능한 것보다 더욱 깨끗하게 다수의 작동을 수행하는 능력을 제공할 수 있다. 예를 들면, 리그닌(예를 들어, 셀룰로즈 에탄올 생성으로부터)을 연소시켜 CO₂를 제조하고, 불순물을 제거하기에 충분하게 냉각되도록 열 교환한 다음, 캐소드 입구 스트림으로서 CO₂ 스트림을 발효로부터의 CO₂ 오프-가스와 합칠 수 있다. 이 CO₂는 (애노드에서의 메탄과 함께) 플랜트의 작동에 전력을 공급하기 위한 전력, 및 생물 연료의 경우 더욱 저온인 다른 반응기에 전력을 공급하기 위한 잔류 열을 생성시킨다. 잔류 CO₂를 분리/포획할 수 있는데, 이는 플랜트로부터의 전체 배출을 개선시킨다. 중질 연료유를 사용하는 선상 시스템의 경우, 열 및 자동적으로 훨씬 더 깨끗한 총 배기 가스(CO₂가 배출된다고 하더라도)와 함께 선박용 핵심 전력을 제공할 수 있다. 석탄 연소의 경우, 이점은 CO₂ 배출 감소 가능성에 기초할 수 있으나, 이 경우(및 다른 경우) 과량의 합성 가스를 생산하는 능력을 또한 "더러운" 물질의 주된 연소에서 연소 보조수단으로서 이용할 수 있다. 이러한 양태에서, 연소 보조제로서 사용되는 H₂ 또는 H₂/CO는 더욱 저품질의 연료의 연소 특징을 개선하여, 제 1 장소에서의 더 깨끗하고/더 효율적인 연소를 가능케 할 수 있다. 추가로, H₂ 같은 과량의 합성 가스를 물질의 예비 세정 작업(예를 들어, 가수소 황화)에 사용하여 임의의 추가적인 장치를 실제로 건설하지 않고서 필요한 구성성분을 제공할 수 있다.

[0191] 냉각, 오염 제거, 및 열 교환을 통한 재가열 후 캐소드 투입물은 연소 공급원이 될 수 있다. 연소되어야 하는 물질의 예비 세정중 일부는 MCFC로부터 H₂를 유도하는 수소 처리를 통해 수행할 수 있다. 회박 조건에서 연소

되는 신선한 메탄, 또는 더 많은 O_2 가 필요한 경우에는 공기로 캐소드 투입물을 보충할 수 있다. 캐소드 산출물을 대기로 배출시킬 수 있다. 애노드 투입물은 메탄, 천연 가스, 또는 다른 개질가능한 연료일 수 있으나, 또한 부분적으로 기화된 물질(기화된 생물질 또는 석탄) 및 존재하는 경우 미리 개질된 경질 탄화수소에 의해 보충될 수 있다. 애노드 배기 가스중의 H_2 를 분리하고/하거나 재순환시킬 수 있다.

[0192] 수소 터빈과의 통합

[0193] 일부 양태에서, 저탄소 전력을 생성하는 목적은 높은 CO_2 포획 효율을 유지하고/하거나 기존 시스템을 효율적으로 이용하면서 총 전력 산출물을 증가시키거나 최대화시키는 것일 수 있다. 종래의 시스템에서는, 캐소드에 열 및 CO_2 를 제공하는 캐소드 입구 스트림의 성분으로서 작용하는 CO_2 를 포함하는 배기 가스 스트림을 생성시키도록, 가스 터빈을 MCFC 시스템에 연결할 수 있다. 이 구성에서는, 문헌에 공지되어 있는 바와 같이, 종래의 수단에 의해 CO_2 를 포획할 수 있고, MCFC 시스템은 비교적 높은 연료 이용률(전형적으로는, 70% 내지 약 80%, 또는 약 75%)로 작동되어 통상적인 작동 조건 하에서 MCFC 내에서 열 평형을 유지할 수 있다.

[0194] 연료 이용률을 낮춰서 과량의 연료, 예컨대 메탄을 생성하고 배기 가스로서 과량의 합성 가스를 생성함으로써, MCFC의 효율적인 이용을 개선할 수 있다. 이 배기 가스/배출물을 다양하게 분리시켜, 다양한 화학적 및 산업적 목적에 유용할 수 있는 합성 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 그러나, 합성 가스가 공급 원료로서 유용하지 않은 경우 및/또는 전력 생산이 주요 목적일 수 있는 경우, 합성 가스 스트림의 생성은 추가적인 저탄소 전력을 제공할 수 없다.

[0195] 다양한 양태에서는, 임의적으로, 그러나 바람직하게 일관되게 높은 탄소 포획을 제공하면서 고정된 MCFC 시스템으로부터 증가되거나 최대화된 양의 전력을 생성시키기 위한 시스템 및 방법이 제공된다. 일부 양태에서는, MCFC 캐소드의 CO_2 공급원으로서 종래의 가스 터빈의 사용, 다량의 합성 가스를 생성시키기 위한 낮은 연료 이용률, 및 MCFC 애노드 배기 가스로부터 유도되는 수소 생산을 증가시킬 수 있는 분리 및/또는 전환 시스템의 조합을 함침으로써, 이러한 시스템을 제공할 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 유도되는 이 수소 스트림을 제 2 수소 터빈 내로 도입할 수 있는데, 여기에서는 CO_2 배출을 감소시키거나 최소화하면서 추가 전력을 생산할 수 있다. 제 2 터빈이 애노드 배기 가스로부터 유도되는 수소-함유 스트림에 의해 전력을 공급받을 수 있기 때문에, 제 2 터빈에 전력을 공급하기 위해 발생하는 추가적인 CO_2 의 양은 예컨대 수소-함유 스트림중 탄소 산화물(들) 및 탄소 연료 잔류 성분으로 제한될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드 배기 가스로부터의 수소를 사용하여 다른 방식으로, 예컨대 수소를 연소시켜 발전에 사용될 수 있는 증기를 가열함으로써 전기를 생성시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드 배기 가스로부터 유도되는 수소의 일부를 (종래의) 제 1 터빈용 투입물로서 사용할 수 있다. 이는 예를 들어 제 1 터빈용 탄소-함유 연료가 CO_2 및/또는 N_2 같은 불활성 물질을 다량 함유하는 경우에 유리할 수 있다.

[0196] 정유소 내에서 사용하는 것 이외에, 수소는 더욱 통상적으로는 광범위한 생성물 및 공정에 유용할 수 있는데, 왜냐하면 수소는 연소시 수증기만 생성시키기 때문이다. 그러나, 수소를 제조하기 위한 대부분의 종래의 접근법은 많은 탄소 배출물을 필요로 할 수 있다. 예를 들어, 메탄의 증기 개질로부터의 수소 생성은 CO_2 (메탄의 탄소로부터) 및 폐열을 생성시킬 수 있다. 전기분해로부터의 수소의 생성은 전형적으로 화석 연료 혼합물의 연소에 기초하여 전력망에 대해 생성되는 전기를 필요로 할 수 있다. 이들 생산 시스템은 모두 CO_2 를 포함하는 배출물을 야기할 수 있다. 연료 전기 차량 같은 용도는 고순도 수소를 이용하는 저온 연료 전지를 필요로 할 수 있다. 차량은 많은 탄소 배출물을 생성시키지 않지만, 차량용 수소의 생성은 비효율적이고 더욱 소규모에 용이하게 적합화되지 않고 상당한 탄소 배출물을 생성시킬 수 있다.

[0197] 일부 추가적인 또는 다른 양태에서, 본원의 시스템 및 방법은 분리 및 수소 정제 단계의 통합 부분으로서 공정으로부터 효율적으로 CO_2 를 분리하는데 도움을 줄 수 있다. 이어, CO_2 를 포획하고/하거나 다른 유용한 공정에 사용할 수 있다. 이는, 특히 소규모 및 가변 부하 하에서, 순 수소 생산/반출을 생성하는 종래의 수단에 비해, 높은 전체 시스템 효율로 이루어질 수 있다.

[0198] 전력 및/또는 열을 생성시킬 수 있는 후속 공정에 사용하기 위한 수소를 생성시키기 위하여 MCFC 시스템을 이용하면, 높은 효율에서 탄소 배출을 감소시키거나 최소화하면서 저공해 에너지 생산을 가능케 할 수 있다. MCFC 시스템은 화학적 에너지 생산 대 전기 에너지 생산의 비를 조정함으로써 수소에 대한 변화하는 요구에 동적으로 응답할 수 있고, 부하 및 요구량이 대략 일정하지 않을 수 있는(과량의 수소 없이 순수한 전력 생산으로부터 다

량의 수소 생산까지 변화하는) 용도에 적합할 수 있다. 또한, 통합된 시스템은 메탄 증기 개질기 같은 더 큰 규모의 시스템에 비해, 높은 효율로 더 넓은 용도 범위에 걸쳐 확장될 수 있다. 이는, 예를 들어, 연료 전지 차량 시스템 같은 다른 용도 및 가변 전력용, 또는 단순히 전력 산출물을 변화시키기 위해 수소의 동시 생산을 허용할 수 있다.

[0199]

예를 들어, 일부 작동 구성에서, 기본 가스 터빈(예컨대, 탄소-함유 연료의 연소에 의해 전력을 얻는 터빈)은 가변 연료 이용률 하에서 MCFC 시스템을 작동시키면서 일정한 고효율 조건에서 작동되어 상이한 전기 및 수소 생산 값을 획득하는데, 이는 전체 시스템으로부터의 전기 산출물을 제어할 수 있다. 수소 및 전기의 양은 높은 전체 시스템 효율을 유지하면서 전체 수요에 따라 변할 수 있다. 보일러 및/또는 다른 복합 열 및 전력 시스템에 보내기 위한 수소는 히터/보일러 및 유사한 시스템에서의 후속 연소를 이용한 수소의 생산을 통해 다양한 양의 무탄소 열과 함께 전기를 일정하게 생산하도록 할 수 있다(예컨대, 독립 생산). 예를 들어, 설비는 에어 컨디셔닝 시스템을 위해 여름에는 주로 전기를 생성시킬 수 있는 한편 가열 작동을 위해 겨울에는 주로 화학 에너지의 혼합으로 변환될 수 있다. 높은 전기 수요 동안에는, 전기 생산을 최대화하기 위하여 증가된 양의 수소를 수소 터빈으로 보낼 수 있다. 다른 용도는 전기 에너지에 대한 요구와 함께 약간의 수소가 필요할 수 있는 실험실 및 다른 기술 및 제조 설비에서와 같은 현장에서의 수소를 제공하도록 디자인된 시스템을 포함할 수 있다.

[0200]

수소 생산 및/또는 발전을 포함하는 양태에서는, 신선한 메탄, 다른 적합한 탄화수소 연료 및/또는 신선한 연료와 다양한 공정으로부터 재순환된 CO 및/또는 H₂의 조합을 애노드 입구에 공급할 수 있다. H₂ 및/또는 CO를 포함하는 애노드 출구 스트림은 수소를 생성하는 성분을 제공할 수 있다. 이는 전형적으로 반응, 분리 및 정제 단계의 일부 조합을 통해 수행될 수 있다. 예는 수성 가스 전화를 이용하여 H₂O+CO=H₂+CO₂ 반응에 의해 가능한 많은 CO를 H₂로 전환시키는 제 1 단계 후, H₂로부터 H₂O 및 CO₂를 제거하는 제 2(및 가능하게는 후속) 단계(들)이다. 이러한 스테이지는 PSA, 극저온 분리, 막 및 다른 공지의 분리 방법을 개별적으로 또는 함께 포함할 수 있다. 이들 단계로부터의 오프-가스를 재순환시키고/시킴거나 사용하여 입구 스트림용 열을 제공할 수 있다. 분리된 CO₂를 재순환 스트림으로서 사용할 수 있고/있거나 다른 공정을 위해 포획 및/또는 사용할 수 있다. 캐소드 입구 스트림은 전체 공정으로부터 재순환된 CO₂ 및/또는 입구 스트림에 열을 제공하기 위해 사용되는 신선한(또는 재순환된) 연료의 연소에 의해 생성되는 CO₂로 구성될 수 있다. 일부 바람직한 양태에서, 캐소드 입구 스트림은 종래의 제 1 연소 터빈으로부터의 연소 배기 가스중 적어도 일부를 포함할 수 있다. 임의적으로, 그러나 바람직하게는, 예를 들어 다른 공정 스트림을 위해 및/또는 복합 사이클 전기 생산에 열을 제공하기 위한 열 회수 후에 캐소드 유출물을 전형적으로 대기로 배출시킬 수 있으나, 캐소드 배출물을 임의적으로 그러나 덜 바람직하게는 필요한 경우 추가적인 처리를 위해 보낼 수 있다.

[0201]

무탄소 열 및 전력 용도와 통합된 MCFC는 더 적은 수소를 제조하는 연료 이용률(예컨대, 60 내지 70%)부터 높은 수소 생산을 위한 더 낮은 연료 이용률(예를 들어, 20 내지 30%)까지 이르는 광범위한 조건에 걸쳐 사용될 수 있다. 개별적인 용도의 정확한 작동 범위는 용도 및 시간에 따라 광범위하게 변할 수 있다. 이 작동 범위에 적합화되는 능력은 바람직한 이점일 수 있다. 분리 스테이지의 수 및/또는 획득되는 순도는 궁극적인 용도에 따라 달라질 수 있다. 배출물이 적은 열을 위한 수소의 간단한 생산은 수소중 보통의 불순물을 허용할 수 있는데, 수%의 CO₂ 및/또는 CO라도 여전히 매우 낮은 전체 배출량을 나타낼 수 있기 때문이다. 연료 전지 차량 및/또는 실험실용 수소 같은 고 정제 용도는 순도 규정을 획득하기 위하여 다수의 단계(예컨대, 극저온 분리 후 PSA)를 필요로 할 수 있다.

[0202]

다른 구성에서는, 열 및/또는 전력을 제공하는데 사용되는 과량의 애노드 출구 연료를 사용하여 더 낮은 연료 이용률에서 MCFC를 작동시킬 수 있다. 두 경우 모두에서, 이점은, 전체 공정중 작은 부속 구역, 즉 가스 터빈을 가변 부하로 사용할 수 있으면서, 고정된 가스 터빈 및 MCFC 시스템의 "기본 부하" 전력 산출물이 대략 일정하게 유지될 수 있다는 것일 수 있다. 가변 연료 이용률 및 가변 수소 터빈 공급물의 조합은 플랜트의 주요 부속 시스템을 매우 일관된 작동 조건으로 작동시키면서 전체 플랜트가 매우 다양한 열, 전기 및/또는 수소 수요를 충족시키도록 할 수 있다.

[0203]

도 25는 편리한 탄소-함유 연료(예컨대, 천연 가스 및/또는 메탄)로부터 CO₂ 배출이 적은 전력을 생성시킬 수 있는 통합된 발전 MCFC 공정의 예시적인 공정 흐름도이다. 이 체제에서, 천연 가스 연소식 터빈(2540)은 산화제(공기)(2501)와 메탄/천연 가스(2502)를 연소시켜 전력 및 배기 가스 스트림(2503)을 생성시킬 수 있다. 배기 가스(2503)를 MCFC(2530)의 캐소드 내로 공급할 수 있다. MCFC(2530)의 애노드에는 추가적인 연료(메탄/천

연 가스)(2505) 및 증기(2506)를 공급할 수 있다. 전기화학적 반응을 통해, MCFC(2530)는 전력을 생성시킬 수 있고, CO₂가 고갈된 캐소드 배기 가스(2504)를 생성시킬 수 있고, H₂/CO₂/CO를 함유하는 애노드 배기 가스(2507)를 생성시킬 수 있다. 캐소드 배기 가스(2504)로부터 열을 회수할 수 있고, 이어 캐소드 배기 가스(2504)를 대기로 방출시키고/시키거나 요구되는 경우 추가로 처리할 수 있다. 애노드 배기 가스(2507)를 수성 가스 전화 반응기(2560)에서 전화시켜 H₂ 농도를 증가시킬 수 있다. 전화 반응기 배출물을 분리(2570) 처리하여 물(2508)을 제거하고 CO₂(2509)를 회수하며 H₂를 함유하는 분리된 스트림(2510)을 형성시킬 수 있다. CO₂-함유 스트림(2509)을 파이프라인 조건으로 압축시킬 수 있고, 이어 사용을 위해 판매하고/하거나 상이한 공정에 사용하고/하거나 격리시킬 수 있다. 분리된 스트림(2510)을 산화제(공기)(2511)와 합치고 수소 터빈(2550)으로 보내어 추가 전력을 생성시킬 수 있다. 수소 터빈(2550)으로부터의 배기 가스(2512)는 주로 물 및 N₂일 수 있고, 대기로 배출시키고/시키거나 요구되는 경우 추가로 처리할 수 있다.

[0204] 예로서, 도 25에 도시된 시스템과 유사한 구성을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수소 터빈을 포함하지 않은 대조용 시뮬레이션도 수행하였다. 대조용 시뮬레이션에서는, 애노드 배기 가스로부터의 연료(수소 포함)를 종래의 터빈용 연소 대역으로 대신 재순환시켰다. 종래의 터빈의 크기를 시뮬레이션에서 일정하게 유지하여, 애노드 배기 가스로부터의 연료의 재순환이 종래의 터빈으로 전달되는 신선한 천연 가스의 양을 감소시켰음에 주목한다.

[0205] 시뮬레이션으로부터의 결과가 도 26에 기재된다. 도 26의 결과는 약 75%의 연료 이용률 같은 통상적인 연료 이용률에서 제 2 수소 터빈을 사용하는 것이 유리하지 않을 수 있음을 보여주는 것으로 나타났다. 약 75%의 연료 이용률에서, 결과는 제 2 수소 터빈을 사용하면 생산되는 순 전력도 감소시키면서 발전의 전체적인 효율을 감소시킬 수 있음을 보여주는 것으로 나타났다.

[0206] 약 50%의 연료 이용률의 경우, 도 26에서의 시뮬레이션 결과는 제 2 수소 터빈과 함께 작동시키는 이점을 보여주는 것으로 나타났다. 제 2 수소 터빈을 갖는 시스템의 전체 효율은, 대조예에서 시뮬레이션된 약 55%에 비해 이 전체 효율이 약 50%였기 때문에, 더 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 시뮬레이션은 약 50% 연료 이용률에서의 작동이 임의의 대조예보다 더욱 다량(약 624MW)의 전력을 생성하는 한편 임의의 대조예에 비해 더 낮은 1MW 시간당 CO₂ 배출량(약 1441bs/MW시간)을 갖는 것을 보여주는 것으로 밝혀졌다. 약 30%의 연료 이용률에서의 시뮬레이션은 더 낮은 연료 이용률에서의 작동에 의해 큰 부피의 수소를 생성하는 더 큰 이점을 보여주는 것으로 밝혀졌다. 시뮬레이션은 CO₂ 배출량도 격감시키면서(약 1131bs/MW시간) 상당히 증가된 전력 생산(약 790MW)을 보여주는 것으로 나타났다. 증가된 전력 및 감소된 CO₂ 배출의 조합은 부분적으로는 포획된 CO₂ 양의 증가(약 50%의 연료 이용률에서 약 1.92M톤/년, 약 30%의 연료 이용률에서 약 2.56M톤/년)로 인해 획득되는 것으로 밝혀졌다. 그 결과, 시뮬레이션은 약 60% 이하, 예컨대 약 50% 이하의 연료 이용률과 함께 수소 터빈을 사용하면 증가된 전기 에너지 생산을 제공하면서 예기치 못하게 낮은 생산된 단위 에너지당 CO₂ 배출을 제공할 수 있음을 보여주는 것으로 나타났다.

[0207] 추가적인 연료 전지 작동 전략

[0208] 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 발생되는 열은 전해질을 가로지르는 연료 전지 반응의 이상적인 전기화학적 포텐셜에서 연료 전지의 실제 산출 전압을 뺀 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. 발생되는 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 일부로

서 포함되지 않는다. 달리 말해, 열 에너지는 전기 에너지가 아니다.

[0209]

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 애노드, 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.

[0210]

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℃ 이하, 예컨대 약 20℃ 이하, 또는 약 10℃ 이하의 애노드 투입물과 애노드 산출물 사이의 온도 상승을 갖도록 작동될 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 연료 전지는 애노드 입구 온도보다 약 10℃ 더 낮은 온도에서 약 10℃ 더 높은 온도까지의 애노드 출구 온도를 갖도록 작동될 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 애노드 출구 온도보다 높은, 예를 들어 약 5℃ 이상 더 높거나, 또는 약 10℃ 이상 더 높거나, 또는 약 20℃ 이상 더 높거나, 또는 약 25℃ 이상 더 높은 애노드 입구 온도를 갖도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, 애노드 출구 온도보다 약 100℃ 이하, 예컨대 약 80℃ 이하, 또는 약 60℃ 이하, 또는 약 50℃ 이하, 또는 약 40℃ 이하, 또는 약 30℃ 이하, 또는 20℃ 이하만큼 더 높은 애노드 입구 온도를 갖도록 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0211]

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 전지에 존재하는 CO₂의 양을 감소시키거나 최소화하면서 합성 가스(또는 수소)의 생산을 증가시키면서 작동될 수 있다. 합성 가스는 다양한 공정에 대한 가치있는 투입물일 수 있다. 열량값을 갖는 것 이외에, 합성 가스는 예를 들어 피셔-트롭쉬 합성 및/또는 메탄올 합성 공정용 투입물로서 합성 가스를 사용하는 것과 같이 다른 더욱 고가의 생성물을 형성하기 위한 원료 물질로서 사용될 수 있다. 합성 가스를 제조하는 한 가지 옵션은 탄화수소 또는 탄화수소 같은 연료, 예컨대 메탄 또는 천연 가스를 개질시키는 것일 수 있다. 많은 유형의 산업 공정에서는, 2:1에 가까운(또는 그보다 더 낮은) H₂ 대 CO 비를 갖는 합성 가스가 흔히 바람직할 수 있다. 애노드에서 생성되는 것과 같이 추가적인 CO₂를 이용할 수 있는 경우에는 수성 가스 전화 반응을 이용하여 H₂ 대 CO 비를 감소시킬 수 있다.

[0212]

합성 가스 생산과 용융 카보네이트 연료 전지의 사용을 통합함으로써 제공되는 전체 이점을 특징화하는 한 가지 방식은 애노드 배기 가스중 연료 전지에 존재하는 합성 가스의 순량 대 캐소드 배기 가스중 연료 전지에서 나가는 CO₂의 양의 비에 기초할 수 있다. 이 특징화 방법은 낮은 배출량 및 높은 효율(전기적 및 화학적 관점 둘 다에서)로 전력을 생성하는 효율을 측정한다. 이 설명에서, 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순량은, 애노드 입구에 존재하는 H₂와 CO의 양에 의해 상쇄되는, 애노드 배기 가스에 존재하는 H₂의 몰수와 CO의 몰수를 합친 값으로서 정의된다. 이 비가 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순량에 기초하기 때문에, 간단히 과량의 H₂를 애노드에 통과시키는 것만으로는 이 비의 값을 변화시키지 못한다. 그러나, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 내부 개질 스테이지에서의 개질로 인해 발생하는 H₂ 및/또는 CO는 이 비를 더 높은 값으로 만들 수 있다. 애노드에서 산화되는 수소는 이 비를 낮출 수 있다. 수성 가스 전화 반응은 CO에 대해 H₂를 교환하여, 합성 가스중 H₂ 대 CO의 궁극적으로 요구되는 비와는 무관하게, H₂와 CO의 합쳐진 몰수가 애노드 배기 가스중의 가능한 총 합성 가스를 나타내도록 함에 주목한다. 이어, 애노드 배기 가스의 합성 가스 함량(H₂+CO)을 캐소드 배기 가스의 CO₂ 함량과 비교할 수 있다. 이는 탄소 포획의 양을 설명할 수 있는 유형의 효율 값을 제공할 수 있다. 이는 다음과 같이 방정식으로 동일하게 표현될 수 있다:

[0213]

애노드 배기 가스중 순 합성 가스 대 캐소드 CO₂의 비=(H₂+CO)_{애노드}의 순 몰수/(CO₂)_{캐소드}의 몰수

- [0214] 다양한 양태에서, 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 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 CO₂의 양의 비는 예컨대 약 10.0 이상, 또는 약 15.0 이상, 또는 약 20.0 이상으로 더 높을 수 있다. 약 40.0 이하, 예를 들어 약 30.0 이하, 또는 약 20.0 이하의 비 값을 또한 또는 다르게 획득할 수 있다. 캐소드 입구에서의 CO₂의 양이 약 6.0부피% 이하, 예컨대 약 5.0부피% 이하인 양태에서는, 약 1.5 이상의 비 값이면 충분/실제적일 수 있다. 애노드 배기 가스중 순 합성 가스 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 양의 이러한 몰비는 종래 방식으로 작동되는 연료 전지의 값보다 더 클 수 있다.
- [0215] 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 CO₂ 이용률 값을 또한 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 CO₂ 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.
- [0216] 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, CO₂ 이용률은 약 60% 이상, 예를 들어 약 65% 이상, 또는 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상일 수 있다.
- [0217] 본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지는 가능하게는 전기 생산 및 전기 효율을 손상시키면서 합성 가스 생산을 증가시키거나 최대화하는 조건에서 작동될 수 있다. 연료 전지의 전기 효율을 개선하거나 최대화하기 위해 연료 전지의 작동 조건을 선택하는 대신에, 가능하게는 애노드를 통과하는 개질가능한 연료의 양을 비롯한 조건을 확립하여 연료 전지의 화학적 에너지 산출물을 증가시킬 수 있다. 이들 작동 조건은 연료 전지의 더 낮은 전기 효율을 야기할 수 있다. 감소된 전기 효율에도 불구하고, 임의적으로, 그러나 바람직하게는, 작동 조건은 연료 전지의 전기 효율과 화학적 효율의 합에 기초하는 연료 전지의 총 효율을 증가시킬 수 있다. 애노드 내로 도입되는 개질가능한 연료 대 애노드에서 실제로 전기화학적으로 산화되는 연료의 비를 증가시킴으로써, 애노드 산출물의 화학 에너지 함량을 증가시킬 수 있다.
- [0218] 일부 양태에서, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량은 애노드에서 반응하는 수소의 순 양보다 약 50% 이상, 예를 들어 약 75% 이상, 또는 약 100% 이상 더 클 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드 및/또는 애노드에 수반되는 개질 스테이지로 전달되는 투입물 스트림중 연료의 개질가능한 수소 함량은 애노드에서 반응하는 수소의 순 양보다 약 50% 이상, 예컨대 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 적어도 약 1.5:1, 또는 적어도 약 2.0:1, 또는 적어도 약 2.5:1, 또는 적어도 약 3.0:1일 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% 미만이 수소로 전환될 수 있는 것으로 생각된다. 예를 들어, 애노드 입구 스트림중 개질가능한 수소 함량의 약 80% 이상, 예를 들어 약 85% 이상, 또는 약 90% 이상이 애노드 및/또는 그에 수반되는 개질 스테이지(들)에서 수소로 전환될 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 애노드로 전달되는 개질가능한 연료의 양은 애노드에서 산화되는 수소의 저위 발열량(LHV)에 대한 개질가능한 연료의 LHV에 기초하여 특징화될 수 있다. 이는 개질가능한 연료 과잉 비로 일컬어질 수 있다. 다양한 양태에서, 개질가능한 연료 과잉 비는 약 2.0 이상, 예를 들어 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상, 또는 약 4.0 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 개질가능한 연료 과잉 비는 약 25.0 이하, 예를 들어 약 20.0 이하, 또는 약 15.0 이하, 또는 약 10.0 이하일 수 있다.
- [0219] 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.

[0220]

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.

[0221]

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.

[0222]

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 I 로 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 I 를 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 가열시키는 온도 차이가 발생할 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.

[0223]

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 가열시키는 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.

[0224]

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

150mW/cm² 미만일 수 있다.

[0225]

발생되는 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 150mA/cm² 이상, 예를 들어 약 160mA/cm² 이상, 또는 약 170mA/cm² 이상, 또는 약 180mA/cm² 이상, 또는 약 190mA/cm² 이상, 또는 약 200mA/cm² 이상, 또는 약 225mA/cm² 이상, 또는 약 250mA/cm² 이상일 수 있다. 또한 또는 다르게는, 연료 전지에 의해 발생하는 전류 밀도는 약 500mA/cm² 이하, 예를 들어 450mA/cm² 이하, 또는 400mA/cm² 이하, 또는 350mA/cm² 이하, 또는 300mA/cm² 이하일 수 있다.

[0226]

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, 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 반응을 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℃ 이하, 예를 들어 약 90℃ 이하, 또는 약 80℃ 이하, 또는 약 70℃ 이하, 또는 약 60℃ 이하, 또는 약 50℃ 이하, 또는 약 40℃ 이하, 또는 약 30℃ 이하로 감소시키기에 충분한 양에 상응할 수 있다. 또한 또는 다르게는, 효과량의 흡열 반응은 약 100℃ 이하, 예를 들어 약 90℃ 이하, 또는 약 80℃ 이하, 또는 약 70℃ 이하, 또는 약 60℃ 이하, 또는 약 50℃ 이하, 또는 약 40℃ 이하, 또는 약 30℃ 이하, 또는 약 20℃ 이하, 또는 약 10℃ 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 발생될 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.

[0227]

본원에 기재되는 연료 전지 작동 전략에 추가적으로, 보충하여 및/또는 대안으로, 용융 카보네이트 연료 전지(예를 들어, 연료 전지 어셈블리)는 감소된 작동 전압 및 낮은 연료 이용률에 상응하는 조건 하에서 작동될 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 CH₄의 합성 가스로의 전환을 증가시킬 수 있다.

[0228]

정의

[0229]

합성 가스: 이 정의에서, 합성 가스는 H₂와 CO의 임의의 비의 혼합물로서 정의된다. 임의적으로는, H₂O 및/또는 CO₂가 합성 가스에 존재할 수 있다. 임의적으로는, 불활성 화합물(예컨대, 질소) 및 잔류하는 개질가능한 연료 화합물이 합성 가스에 존재할 수 있다. H₂와 CO 외의 성분이 합성 가스에 존재하는 경우, 합성 가스중 H₂와 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 H₂와 CO의 합쳐진 부피 백분율은 100부피% 이하, 예컨대 95부피% 이하 또는 90부피% 이하일 수 있다.

[0230]

개질가능한 연료: 개질가능한 연료는 개질되어 H₂를 발생시킬 수 있는 탄소-수소 결합을 함유하는 연료로서 정의된다. 다른 탄화수소계 화합물(예컨대, 알콜)이 그러하듯이 탄화수소가 개질가능한 연료의 일례이다. CO와 H₂O가 수성 가스 전화 반응에 참여하여 수소를 형성할 수 있으나, CO는 이 정의 하에서 개질가능한 연료로 간주

되지 않는다.

[0231]

개질가능한 수소 함량: 연료의 개질가능한 수소 함량은 연료를 개질시킨 후 수성 가스 전화 반응이 완결되도록 하여 H_2 생성을 최대화함으로써 연료로부터 유도될 수 있는 H_2 분자의 수로서 정의된다. 이 정의에 의한 H_2 는 1의 개질가능한 수소 함량을 갖지만, H_2 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_2 로 변하게 한다. 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량의 일례로서, 메탄의 개질가능한 수소 함량은 4개의 H_2 분자인 한편, 에탄의 개질가능한 수소 함량은 7개의 H_2 분자이다. 더욱 일반적으로, 연료가 $C_xH_yO_z$ 의 조성을 갖는다면, 100% 개질 및 수성 가스 전화시 이 연료의 개질가능한 수소 함량은 $n(\text{최대 개질 } H_2)=2x+y/2-z$ 이다. 이 정의에 기초하여, 전지 내의 연료 이용률은 $n(\text{산화 } H_2)/n(\text{최대 개질 } H_2)$ 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.

[0232]

산화 반응: 이 논의에서, 연료 전지의 애노드 내에서의 산화 반응은 CO_3^{2-} 와의 반응에 의해 H_2 를 산화시켜 H_2O 와 CO_2 를 생성함에 상응하는 반응으로서 정의된다. 탄소-수소 결합을 함유하는 화합물이 H_2 와 CO 또는 CO_2 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 전력을 얻는 제너레이터의 연소 대역 같은 비-전기화학적 버너에서 H_2 또는 탄소-수소 결합(들)을 함유하는 화합물이 O_2 와 반응하여 H_2O 와 이산화탄소를 형성시키는 반응의 인용으로서 정의됨에 또한 주목한다.

[0233]

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.

[0234]

연료 이용률: 연료 이용률은 연료 전지의 연료 이용률을 정의하는데 사용될 수 있는 투입물 스트림의 개질가능한 수소 함량에 대한 산화된 연료의 양에 기초하여 애노드의 작동을 특정화하는 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_2 생성을 최대화함으로써 연료로부터 유도될 수 있는 H_2 분자의 수로서 상기에서 정의되었다. 예를 들어, 애노드 내로 도입되어 증기 개질 공정에 노출되는 각 메탄은 최대 생산시 4개의 H_2 분자를 발생시킨다. (개질 및/또는 애노드 조건에 따라, 개질 생성물은 수성 가스 전화되지 않은 생성물에 상응할 수 있으며, 이 때 하나 이상의 H_2 분자가 CO 분자의 형태로 대신 존재한다.) 그러므로, 메탄은 4개의 H_2 분자의 개질가능한 수소 함량을 갖는 것으로 정의된다. 다른 예로서, 이 정의 하에서 에탄은 H_2 분자 7개의 개질가능한 수소 함량을 갖는다.

[0235]

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 특정화될 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 $(LHV(\text{애노드 입구})-LHV(\text{애노드 출구}))/LHV(\text{애노드 입구})$ 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_2 , CH_4 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.

[0236]

저위 발열량: 저위 발열량은 연료 성분이 기상의 완전 산화된 생성물(즉, 기상 CO_2 및 H_2O 생성물)로 연소됨에

있어서의 엔탈피로서 정의된다. 예를 들어, 애노드 투입물 스트림에 존재하는 임의의 CO_2 는 애노드 투입물의 연료 함량에 기여하지 않는데, 왜냐하면 CO_2 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_2 산화로서 정의된다.

[0237] 애노드 투입물 유동의 유일한 연료가 H_2 인 특수한 경우에 있어서, 애노드에서 일어날 수 있는 연료 성분을 포함하는 유일한 반응은 H_2 의 H_2O 로의 전환을 나타냄에 주목한다. 이 특수한 경우에서, 연료 이용률은 $(\text{H}_2$ 의 입구 속도- H_2 의 출구 속도)/ H_2 의 입구 속도로 단순화된다. 이 경우, H_2 는 유일한 연료 성분이고, 따라서 H_2 LHV는 방정식에서 빠지게 된다. 더욱 일반적인 경우, 애노드 공급물은 예컨대 CH_4 , H_2 및 CO 를 다양한 양으로 함유할 수 있다. 이들 물질이 전형적으로는 애노드 출구에서 상이한 양으로 존재하기 때문에, 상기 기재된 합이 연료 이용률을 결정하는데 필요할 수 있다.

[0238] 연료 이용률과는 다르게 또는 연료 이용률 이외에, 연료 전지의 다른 반응물의 이용률을 특징화할 수 있다. 예를 들어, 연료 전지의 작동은 추가로 또는 다르게는 " CO_2 이용률" 및/또는 "산화제" 이용률과 관련하여 특징화될 수 있다. CO_2 이용률 및/또는 산화제 이용률 값도 유사한 방식으로 규정될 수 있다.

[0239] **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 $(\text{LHV}(\text{애노드 입구})/(\text{LHV}(\text{애노드 입구})-\text{LHV}(\text{애노드 출구})))$ 로서 산출될 수 있으며, 여기에서 $\text{LHV}(\text{애노드 입구})$ 및 $\text{LHV}(\text{애노드 출구})$ 은 각각 애노드 입구 및 출구 스트림 또는 유동중 연료 성분(예를 들어, H_2 , CH_4 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.

[0240] 애노드의 투입물 스트림중 개질가능한 연료 모두가 개질될 수 있는 것은 아님에 주목한다. 바람직하게는, 애노드(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.

[0241] 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.

[0242] 임의적으로, 연료 과잉 비는 연료가 애노드 산출물로부터 애노드 투입물로 재순환되는 상황 때문에 변화될 수 있다. 연료(예를 들어, H_2 , 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.

[0243] **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_2 또는 CO 의 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_2 또는 CO 같은 개질된 생성물에 상응할 수 있다. 수학적으로 표현하자면, 개질가능한 연료 과잉 비(R_{RF})= $\text{LHV}_{\text{RF}}/\text{LHV}_{\text{OH}}$ 이며, 여기에서 LHV_{RF} 는 개질가능한 연료의 저위 발열량(LHV)이고, LHV_{OH} 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.

[0244]

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 $(RFC(\text{개질가능한 애노드 입구}) / (RFC(\text{개질가능한 애노드 입구}) - RFC(\text{애노드 출구})))$ 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_2 , CH_4 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_2 와 CO 를 형성시키는 것은 흡열 반응이다. 연료 전지에서의 전류의 발생에 의해 이 흡열 반응에 대항할 수 있는데, 상기 전류 발생은 애노드 산화 반응과 카보네이트 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 발생될 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 $\frac{3}{4}$)가 사용되어 수소를 형성함을 의미하고, 이 수소는 애노드에서 카보네이트 이온과 추후 반응하여 H_2O 와 CO_2 를 형성한다. 종래의 작동에서, 연료 함량의 나머지 약 25%는 연료 전지 내에서 H_2 로 개질된(또는 연료중 임의의 CO 또는 H_2 의 경우 반응하지 않은 채로 연료 전지를 통해 통과할 수 있음) 후, 연료 전지 외부에서 연소되어 H_2O 와 CO_2 를 형성함으로써 연료 전지로의 캐소드 입구의 열을 제공할 수 있다. 이 상황에서 개질가능한 수소 과잉 비는 $4/(4-1)=4/3$ 일 수 있다.

[0245]

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.

[0246]

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 전력이다. 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 빠지지 않는다. 본원에 사용되는 전력 밀도는 전압을 곱한 전류 밀도이다. 본원에 사용되는 용어 총 연료 전지 전력은 연료 전지 면적을 곱한 전력 밀도이다.

[0247]

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.

[0248]

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, $TFCE = (LHV(e1) + LHV(sg\ net)) / LHV(\text{애노드 입구})$ 이며, 이 때 LHV(애노드 입구)는 애노드로 전달되는 연료 성분(예를 들어, H_2 , CH_4 및/또는 CO)의 LHV 비를 가리키고, LHV(sg net)는 애노드에서 합성 가스(H_2 , 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.

[0249]

화학적 효율: 본원에 사용되는 용어 "화학적 효율"은 연료 투입물 또는 LHV(in)으로 나눈, 연료 전지의 애노드 배기 가스중 H_2 및 CO 의 저위 발열량 또는 LHV(sg out)으로서 정의된다.

[0250]

전기 효율도 총 시스템 효율도 상류 또는 하류 공정의 효율을 고려하지 못한다. 예를 들면, 터빈 배기 가스를 연료 전지 캐소드의 CO_2 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.

[0251]

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 생성하는데 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 $LHV(sg\ net) / LHV(\text{애노드 입구})$ 이다. 합성 가스 및 연료의 몰 유속을 LHV 대신 사용하여 몰에 기초한 합성 가스 비 및 몰에 기초한 생성된 합성 가스를 표현할 수 있다.

[0252]

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_2 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_2O 의 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, $\#C$ 는 연료중 탄소의 수이다.

[0253]

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.

[0254]

본 발명의 다양한 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지(MCFC)를 이용하여 추가적인 전력을 또한 발생시키면서 CO_2 -함유 스트림으로부터의 CO_2 의 분리를 용이하게 할 수 있다. 투입 공급물의 적어도 일부를 연료 전지의 캐소드 부분에 제공할 수 있는 연소에 기초한 발전기와와 상승작용의 이점을 취함으로써 CO_2 분리를 추가로 향상시킬 수 있다.

[0255]

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 역할을 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.

[0256]

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 수십개 또는 수백개)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 증압시킬 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.

[0257]

본 발명에서는, 달리 명시되지 않는 한, 용어 "연료 전지"는 단일 투입물 및 산출물이 존재하는 하나 이상의 개별적인 연료 전지 요소의 세트로서 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 들

어, 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.

[0258] **"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.

[0259] 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.

[0260] 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 애노드를 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 스테이지로부터의 산출물은 연료 전지 스택중 하나 이상의 연료 전지의 투입물 측으로 복귀될 수 있다.

[0261] 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.

[0262] 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.

[0263] 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 촉진하는

데 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 에탄을 탈수 및 에탄 분리를 포함할 수 있다(이것으로 한정되지는 않음).

[0264]

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 CO₂ 분리 스테이지를 통해 통과하면, 이는 애노드 배기 가스의 간접 재순환으로 생각된다. 애노드 배기 가스로부터 회수된 H₂ 스트림 같은 애노드 배기 가스의 일부가, 석탄을 연료 전지로의 도입에 적합한 연료로 전환시키기 위한 기화기를 통과하면, 이것도 또한 간접 재순환으로 생각된다.

[0265]

애노드 투입물 및 산출물

[0266]

본 발명의 다양한 양태에서, MCFC 어레이에는, 예를 들어 수소 및 메탄(또는 다르게는 C 및 H가 아닌 헤테로원자를 함유할 수 있는 탄화수소계 또는 탄화수소 같은 화합물) 같은 탄화수소 둘 다를 포함하는, 애노드 입구에서 받아들여지는 연료가 공급될 수 있다. 애노드로 공급되는 메탄(또는 다른 탄화수소계 또는 탄화수소 같은 화합물)의 대부분은 전형적으로 새로운 메탄일 수 있다. 이 기재에서, 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 CO₂-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, H₂를 발생시키는 개질에 대한 연료 투입물이 메탄인 경우, 물 대 연료의 몰비는 약 1:1 내지 약 10:1, 예를 들어 적어도 약 2:1일 수 있다. 외부 개질에는 4:1 이상의 비가 전형적이지만, 내부 개질에는 더 낮은 값이 전형적일 수 있다. H₂가 연료 공급원의 일부인 정도까지, 일부 임의적인 양태에서는, 연료에 추가적인 물을 필요로 하지 않을 수 있는데, 왜냐하면 애노드에서 H₂의 산화가 연료의 개질에 사용될 수 있는 H₂O를 생성하는 경향이 있을 수 있기 때문이다. 연료 공급원은 또한 임의적으로 연료 공급원에 부수적인 성분을 함유할 수 있다(예를 들어, 천연 가스 공급물은 추가적인 성분으로서 약간의 CO₂ 함량을 함유할 수 있다). 예를 들어, 천연 가스 공급물은 CO₂, N₂, 및/또는 추가 성분으로서 다른 불활성 가스(영족 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.

[0267]

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.

[0268]

일부 양태에서는, 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 회석제 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_2 또는 다른 불활성 분자(예컨대, 질소, 아르곤 또는 헬륨)를 포함할 수 있는 공급원이다. 많아진 양의 CO_2 및/또는 불활성 화합물의 존재로 인해, 공급원에 기초한 연료 스트림의 에너지 함량이 감소될 수 있다. 연소 반응에(예를 들어, 연소에 의해 전력을 얻는 터빈에 전력을 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_2 의 존재는 애노드 산출물에 존재하는 H_2 와 CO 의 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_2 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_2 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.

[0269]

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 $\text{C}_1\text{-C}_4$ 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($\text{C}_1\text{-C}_4$) 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_2 및/또는 개질가능한 연료 화합물도 함유하는 CO 또는 CO_2 함유 정련 스트림을 포함할 수 있다.

[0270]

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_2O 를 포함할 수 있다. 이러한 H_2O 는 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.

[0271]

바이오가스, 또는 소화조 가스는 애노드 투입물의 추가적인 또는 다른 가능한 공급원이다. 바이오가스는 주로 메탄과 CO_2 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.

[0272]

MCFC 애노드로부터의 산출물 스트림은 H_2O , CO_2 , CO 및 H_2 를 포함할 수 있다. 임의적으로는, 애노드 산출물 스트림은 또한 추가적인 산출물 성분으로서 공급물 중에 미반응 연료(예컨대, H_2 또는 CH_4), 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_2 또는 CO 같은 다른 공정으로의 투입물로서의 기대 가치를 갖는 성분으로부터 CO_2 를 분리할 수 있다. H_2 및/또는 CO 를 화학적 합성을 위한 합성 가스로서, 화학적 반응을 위한 수소 공급원으로서, 및/또는 온실 가스 배출이 감소된 연료로서 사용할 수 있다.

[0273]

다양한 양태에서, 애노드로부터의 산출물 스트림의 조성은 몇 가지 인자에 의해 영향을 받을 수 있다. 애노드 산출물 조성에 영향을 끼칠 수 있는 인자는 애노드로의 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 카보

네이트의 양(발생되는 전류의 양에 상응함)을 알면, 수성 가스 전화 반응의 평형 상수에 기초하여 애노드 산출물의 조성을 결정할 수 있다:

$$K_{eq}=[CO_2][H_2]/[CO][H_2O]$$

상기 방정식에서, K_{eq} 는 소정 온도 및 압력에서 반응의 평형 상수이고, $[X]$ 는 성분 X의 분압이다. 수성 가스 전화 반응에 기초하여, 애노드 투입물중 증가된 CO_2 농도가 추가적인 CO 형성(H_2 를 소비하면서)을 야기하는 경향이 있을 수 있는 한편, 증가된 H_2O 농도가 추가적인 H_2 형성(CO를 소비하면서)을 야기하는 경향이 있을 수 있음을 알 수 있다.

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_2 증가 대신 애노드 투입물의 탄화수소 함량을 감소시킬 수 있다. 이어, 생성되는 전류의 양에 기초하여, 추가적인 H_2O 및 CO_2 대신 애노드 투입물중 H_2 의 양을 감소시킬 수 있다. 이어, 수성 가스 전화 반응의 평형 상수에 기초하여 이 조성을 조정함으로써, H_2 , CO, CO_2 및 H_2O 의 출구 농도를 결정할 수 있다.

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_2O) 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_2 및 H_2 농도는 무시할만한 것으로 추정한 한편, 투입물 N_2 농도는 약 0.5%였다. 표에서 보이는 바와 같이 연료 이용률 U_f (본원에 정의된 바와 같음)는 약 35%에서 약 70%까지 변할 수 있었다. 연료 전지 애노드의 출구 온도는 올바른 평형 상수 값을 결정하기 위하여 약 650℃인 것으로 추정하였다.

[표 1]

애노드 배기 가스 조성

Uf	%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
애노드 배기 가스 조성									
H₂O	%, 습윤	32.5%	34.1%	35.5%	36.7%	37.8%	38.9%	39.8%	40.5%
CO₂	%, 습윤	26.7%	29.4%	32.0%	34.5%	36.9%	39.3%	41.5%	43.8%
H₂	%, 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%
N₂	%, 습윤	0.5%	0.5%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
CO₂	%, 건조	39.6%	44.6%	49.6%	54.5%	59.4%	64.2%	69.0%	73.7%
H₂	%, 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%
N₂	%, 건조	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
H₂/CO		2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1
(H₂-CO₂)/ (CO+CO₂)		0.07	-0.09	-0.22	-0.34	-0.44	-0.53	-0.61	-0.69

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_2O 를 포함할 수 있다. H_2O 의 양은 크게 변할 수 있는데, 왜냐하면 애노드중의 H_2O 는 애노드 산화 반응에 의해 생성될 수 있기 때문이다. 개질에 필요한 것보다 과량의 H_2O 가 애노드 내로 도입되면, 과량의 H_2O 는 전형적으로 연료 개질 및 수성 가스 전화 반응으로 인해 소비되는(또는 발생하는) H_2O 를 제외하고는 대부분 반응하지 않은 채로 통과할 수 있다. 애노드 산출물중 CO_2 농도는 광범위하게, 예를 들어 CO_2 약 20부피% 내지 약 50부피%로 변할 수 있다. CO_2 의 양은 발생

되는 전류의 양뿐만 아니라 애노드 투입물 유동중 CO_2 의 양에 의해 영향을 받을 수 있다. 애노드 산출물중 H_2 의 양은 추가로 또는 다르게는 애노드에서의 연료 이용률에 따라 H_2 약 10부피% 내지 H_2 약 50부피%일 수 있다. 애노드 산출물에서, CO 의 양은 약 5부피% 내지 약 20부피%일 수 있다. 소정 연료 전지의 애노드 산출물중 H_2 의 양에 대한 CO 의 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_2 , CH_4 (또는 다른 미반응 탄소-함유 연료) 및/또는 다른 성분 같은 다양한 다른 성분을 5부피% 이하로 포함할 수 있다.

[0282]

임의적으로는, 요구되는 경우, 애노드 산출물 후에 하나 이상의 수성 가스 전화 반응을 포함시켜 애노드 산출물중의 CO 및 H_2O 를 CO_2 및 H_2 로 전환시킬 수 있다. 애노드 산출물에 존재하는 H_2 의 양은 예를 들어 더욱 저온에서 수성 가스 전화 반응을 이용하여 애노드 산출물에 존재하는 H_2O 및 CO 를 H_2 및 CO_2 로 전환시킴으로써 증가될 수 있다. 다르게는, 온도를 상승시킬 수 있고 수성 가스 전화 반응을 역전시켜, H_2 와 CO_2 로부터 더 많은 CO 와 H_2O 를 생성시킬 수 있다. 물은 애노드에서 이루어지는 반응의 예측되는 산출물이고, 따라서 애노드 산출물은 전형적으로 애노드 산출물에 존재하는 CO 의 양에 비해 과량의 H_2O 를 가질 수 있다. 다르게는, 애노드 출구 후에, 그러나 수성 가스 전화 반응 전에, H_2O 를 스트림에 첨가할 수 있다. CO 는 개질 동안 불완전한 탄소 전환으로 인해 및/또는 개질 조건 또는 애노드 반응 동안 존재하는 조건 하에서 H_2O , CO , H_2 및 CO_2 사이에서의 반응의 평형상태 균형(즉, 수성 가스 전화 평형)으로 인해 애노드 산출물에 존재할 수 있다. 수성 가스 전화 반응은 CO 와 H_2O 를 소비하면서 CO_2 와 H_2 를 형성시키는 방향으로 평형상태를 더 이동시키도록 하는 조건 하에서 작동될 수 있다. 더 높은 온도는 CO 와 H_2O 의 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°C 에서 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°C 에서 작동되고, 더욱 저온의 제 2 스테이지는 약 225°C 이하, 예컨대 약 180°C 내지 약 210°C 에서 작동된다. 애노드 산출물에 존재하는 H_2 의 양을 증가시키는 것 이외에, 수성 가스 전화 반응은 또한 또는 다르게는 CO 를 소비하고 CO_2 의 양을 증가시킬 수 있다. 이는 제거하기 어려운 일산화탄소(CO)를 응축(예컨대, 극저온 제거), 화학 반응(예컨대, 아민 제거) 및/또는 다른 CO_2 제거 방법에 의해 더욱 용이하게 제거될 수 있는 이산화탄소로 바꿀 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 목적하는 H_2 대 CO 비를 획득하기 위하여 애노드 배기 가스에 존재하는 CO 함량을 증가시키는 것이 바람직할 수 있다.

[0283]

임의적인 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시킨 후, 애노드 산출물 스트림으로부터 물 및/또는 CO_2 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_2 분리를 수행함으로써 하나 이상의 CO_2 산출 스트림을 형성시킬 수 있다. 이러한 방법을 이용하여, 90부피% 이상, 예를 들어 95부피% 이상 또는 98부피% 이상의 CO_2 함량을 갖는 CO_2 산출물 스트림(들)을 생성시킬 수 있다. 이러한 방법은 애노드 산출물의 CO_2 함량의 약 70% 이상, 예를 들어 애노드 산출물의 CO_2 함량의 약 80% 이상, 또는 약 90% 이상을 회수할 수 있다. 다르게는, 몇몇 양태에서는, 애노드 산출물 스트림 내에서 CO_2 의 적어도 일부만을 회수하는 것이 바람직할 수 있는데, 회수되는 CO_2 부분은 애노드 산출물중 CO_2 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_2 를 보유하는 것이 바람직할 수 있다. 적합한 분리 방법은 물리적 용매[예를 들어, 셀렉솔(Selexol)TM 또는 렉티솔(Rectisol)TM]; 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_2 분리가 적합한 분리기의 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_2 를 분리시킬 수 있는데, 왜냐하면 애노드 산출물 유동의 다른 잔류 성분(예컨대, H_2 , N_2 , CH_4)은 용이하게 응축

된 상을 형성하지 않는 경향이 있기 때문이다. 극저온 CO₂ 분리기는 작동 조건에 따라 유동에 존재하는 CO₂의 약 33% 내지 약 90%를 회수할 수 있다.

[0284]

CO₂ 분리 전에, CO₂ 분리 동안 또는 CO₂ 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 전력 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 CO₂ 제거를 수행하는 실시양태에서는, 트라이에틸렌글라이콜(TEG) 시스템 및/또는 건조제에 의한 제거를 비롯한, CO₂ 제거 전 또는 동안의 물의 제거가 바람직할 수 있다. 대조적으로, CO₂ 제거에 아민 세척을 이용하는 경우에는, CO₂ 제거 스테이지 하류에서 애노드 배기 가스로부터 물을 제거할 수 있다.

[0285]

CO₂ 산출물 스트림 및/또는 물 산출물 스트림과는 달리 또는 추가적으로, 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 H₂, 예를 들어 약 90부피% 이상의 H₂ 또는 약 95부피% 이상의 H₂를 함유하는 수소 생성물 스트림을 형성시킬 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 합쳐서 약 70부피% 이상의 H₂와 CO, 예를 들어 약 90부피%의 H₂와 CO를 함유하는 합성 가스 스트림을 형성시킬 수 있다. 하나 이상의 생성물 스트림은 애노드 산출물중 합쳐진 H₂와 CO 기체 부피의 약 75부피% 이상, 예를 들어 합쳐진 H₂와 CO 기체 부피의 약 85% 이상 또는 약 90% 이상에 상응하는 기체 부피를 가질 수 있다. 생성물 스트림중 H₂와 CO의 상대적인 양은 생성물 사이에서 전환시키기 위한 수성 가스 전화 반응 스테이지의 사용에 기초한 애노드 산출물 중의 H₂ 대 CO 비와 상이할 수 있음에 주목한다.

[0286]

일부 양태에서는, 애노드 산출물에 존재하는 H₂의 일부를 제거 또는 분리하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들면, 일부 양태에서 애노드 배기 가스중 H₂ 대 CO 비는 적어도 약 3.0:1일 수 있다. 대조적으로, 피셔-트롭쉬 합성 같은 합성 가스를 사용하는 공정은 2:1에 근접하는 비 같은 상이한 비로 H₂와 CO를 소비할 수 있다. 한 가지 대안은 수성 가스 전화 반응을 이용하여 목적하는 합성 가스 조성에 더욱 근접한 H₂ 대 CO 비를 갖도록 애노드 산출물의 함량을 변화시키는 것일 수 있다. 다른 대안은 막 분리를 이용하여 목적하는 H₂ 대 CO 비를 획득하도록 애노드 산출물에 존재하는 H₂의 일부를 제거하거나, 또는 다르게는 막 분리와 수성 가스 전화 반응의 조합을 이용하는 것일 수 있다. 애노드 산출물에서 H₂의 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 H₂ 함량을 갖는 보유물(retentate)를 생성하는 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 구전력을 여전히 가지면서 투과물 측이 주위 압력보다는 승압에 있을 수 있다. 추가적으로 또는 다르게는, 메탄 같은 스위프(sweep) 가스를 사용하여 막 분리를 위한 구전력을 제공할 수 있다. 이는 H₂ 투과물 스트림의 순도를 감소시킬 수 있으나, 투과물 스트림의 목적하는 용도에 따라 유리할 수 있다.

[0287]

본 발명의 다양한 양태에서는, 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부(바람직하게는 CO₂ 및/또는 H₂O의 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 적어도 약 3.0:1, 또는 적어도 약 4.0:1, 또는 적어도 약 5.0:1의 H_2 대 CO의 비를 가질 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 합성 가스 스트림을 발생시키거나 회수할 수 있다. 임의적으로는 CO_2 및/또는 H_2O 의 분리 후, 또한 임의적으로는 수성 가스 전화 반응 및/또는 막 분리를 수행하여 과량의 수소를 제거한 후, 애노드 배기 가스는 상당량의 H_2 및/또는 CO를 함유하는 스트림에 상응할 수 있다. H_2 대 CO의 비가 적어도 약 3:1인 스트림 같은 비교적 낮은 CO 함량을 갖는 스트림의 경우에는, 애노드 배기 가스가 H_2 공급물로 사용하기에 적합할 수 있다. H_2 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_2 함량이 바람직할 수 있다. 약 2.2 미만:1 및 약 1.9 초과:1의 H_2 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-전화 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 재순환시키거나 연소에 의해 전력을 얻는 제너레이터의 연소 대역으로 재순환시킬 수 있다.

[0288]

상이한 유형의 피셔-트롭쉬 합성 공정에 유용한 투입물 스트림은 애노드 산출물로부터 생성하는 것이 바람직할 수 있는 상이한 유형의 생성물 스트림의 일례를 제공할 수 있다. 철-계 촉매 같은 전화 촉매를 사용하는 피셔-트롭쉬 합성 반응 시스템에서, 반응 시스템으로의 목적하는 투입물 스트림은 H_2 와 CO 이외에 CO_2 를 포함할 수 있다. 충분한 양의 CO_2 가 투입물 스트림에 존재하지 않는 경우에는, 수성 가스 전화 활성을 갖는 피셔-트롭쉬 촉매가 추가적인 CO_2 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_2 (및 임의적으로는 H_2O)의 목적하는 양을 유지시키도록 애노드 산출물의 분리 스테이지를 작동시킬 수 있다. 대조적으로, 비-전화 촉매에 기초한 피셔-트롭쉬 촉매의 경우에는, 생성물 스트림에 존재하는 임의의 CO_2 가 피셔-트롭쉬 반응 시스템에서 불활성 성분으로서의 역할을 할 수 있다.

[0289]

메탄 스왑 가스 같은 스왑 가스로 막을 스왑핑하는 양태에서, 메탄 스왑 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_2 투과는 최소한의 결과를 가질 수 있다. 막을 가로질러 투과될 수 있는 이러한 CO_2 는 애노드 내에서의 반응에 최소한의 효과를 가질 수 있으며, 이러한 CO_2 는 애노드 생성물에 함유된 채로 유지될 수 있다. 그러므로, 투과로 인해 막을 가로질러 손실된 CO_2 (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, 스왑 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.

[0290]

애노드에서 생성된 과량의 H_2 는 온실 가스가 이미 분리된 연료를 나타낼 수 있음에 주목한다. 애노드 산출물중 임의의 CO_2 는 예를 들어 아민 세척, 극저온 CO_2 분리 및/또는 압력 또는 진공 변동 흡착 공정을 이용함으로써 애노드 산출물로부터 용이하게 분리될 수 있다. 애노드 산출물의 성분중 몇 가지(H_2 , CO, CH_4)는 용이하게 제거되지 않는데 반해, CO_2 및 H_2O 는 통상 용이하게 제거될 수 있다. 실시양태에 따라, 애노드 산출물중 CO_2 의 약 90부피% 이상이 분리되어 비교적 고순도 CO_2 산출물 스트림을 형성시킬 수 있다. 그러므로, 애노드에서 발생된 임의의 CO_2 를 효율적으로 분리하여 고순도 CO_2 산출물 스트림을 형성할 수 있다. 분리 후, 애노드 산출물의 나머지 부분은 주로 화학적 가치 및/또는 열량값을 갖는 성분뿐만 아니라 감소된 양의 CO_2 및/또는 H_2O 에 상응할

수 있다. 원래 연료(개질 전)에 의해 발생된 CO₂의 상당량이 분리되었을 수 있기 때문에, 애노드 산출물의 나머지 부분의 후속 연소에 의해 발생하는 CO₂의 양이 감소될 수 있다. 특히, 애노드 산출물의 나머지 부분의 연료가 H₂인 한도까지, 이 연료의 연소에 의해 추가적인 온실 가스가 전형적으로 생성되지 않을 수 있다.

[0291]

애노드 배기 가스를, 수성 가스 전화 및 서로로부터의 성분의 분리를 비롯한 다양한 가스 가공 옵션에 적용시킬 수 있다. 두 일반적인 애노드 가공 방법이 도 1 및 도 2에 도시되어 있다.

[0292]

도 1은 화학적 합성 공정과 함께 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이를 작동시키기 위한 반응 시스템의 일례를 개략적으로 도시한다. 도 1에서는, 연료 전지 어레이에서 연료 전지 스택의 일부인 연료 전지 같은 연료 전지(120)의 애노드(127)에 수반되는 개질 스테이지(또는 스테이지들)(110)에 연료 스트림(105)을 공급한다. 연료 전지(120)에 수반되는 개질 스테이지(110)는 연료 전지 어셈블리 내부에 있을 수 있다. 일부 임의적인 양태에서는, 외부 개질 스테이지(도시되지 않음)를 또한 사용하여, 투입물 스트림이 연료 전지 어셈블리에 통과하기 전에 투입물 스트림중 개질가능한 연료의 일부를 개질시킬 수 있다. 연료 스트림(105)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(105)은 또한 임의적으로는 임의적인 애노드 재순환 스트림(185)에 의해 제공되는 H₂ 및/또는 CO 같은 H₂ 및/또는 CO를 함유할 수 있다. 애노드 재순환 스트림(185)은 임의적이고, 다수의 양태에서 애노드 배기 가스(125)로부터 애노드(127)로 직접적으로 또는 연료 스트림(105) 또는 개질된 연료 스트림(115)과의 조합을 통해 간접적으로 재순환되는 스트림이 제공되지 않음에 주목한다. 개질 후, 개질된 연료 스트림(115)을 연료 전지(120)의 애노드(127)에 통과시킬 수 있다. CO₂ 및 O₂-함유 스트림(119)을 또한 캐소드(129)에 통과시킬 수 있다. 연료 전지의 캐소드 부분(129)으로부터의 카보네이트 이온(122) CO₃²⁻의 유동은 애노드 연료 전지 반응에 필요한 나머지 반응물을 제공할 수 있다. 애노드(127)에서의 반응에 기초하여, 생성되는 애노드 배기 가스(125)는 H₂O, CO₂, 불완전하게 반응한 연료에 상응하는 하나 이상의 성분(H₂, CO, CH₄, 또는 개질가능한 연료에 상응하는 다른 성분), 및 임의적으로는 연료 스트림(105)의 일부인 N₂ 및/또는 다른 오염물질 같은 하나 이상의 추가적인 비반응성 성분을 포함할 수 있다. 이어, 애노드 배기 가스(125)를 하나 이상의 분리 스테이지에 통과시킬 수 있다. 예를 들면, CO₂ 제거 스테이지(140)는 극저온 CO₂ 제거 시스템, CO₂ 같은 산 기체를 제거하기 위한 아민 세척 스테이지, 또는 애노드 배기 가스로부터 CO₂ 산출물 스트림(143)을 분리하기 위한 다른 적합한 유형의 CO₂ 분리 스테이지에 상응할 수 있다. 임의적으로는, 애노드 배기 가스를 먼저 수성 가스 전화 반응기(130)를 통해 통과시켜, 애노드 배기 가스에 존재하는 임의의 CO(일부 H₂O와 함께)를 임의적으로는 수성 가스 전화된 애노드 배기 가스(135)에서 CO₂ 및 H₂로 전환시킬 수 있다. CO₂ 제거 스테이지의 특성에 따라, 애노드 배기 가스로부터 물 산출물 스트림(153)을 제거하는데 물 응축 또는 제거 스테이지(150)가 바람직할 수 있다. 도 1에는 CO₂ 분리 스테이지(140) 후에 도시되어 있으나, 이는 임의적으로는 대신 CO₂ 분리 스테이지(140) 전에 위치할 수 있다. 또한, H₂를 분리하기 위한 임의적인 막 분리 스테이지(160)를 이용하여 H₂의 고순도 투과물 스트림(163)을 생성시킬 수 있다. 이어, 생성된 보유물 스트림(166)을 화학적 합성 공정으로의 투입물로서 사용할 수 있다. 스트림(166)을 추가로 또는 다르게는 제 2 수성 가스 전화 반응기(131)에서 전화시켜, H₂, CO 및 CO₂ 함량을 상이한 비로 조정함으로써, 화학적 합성 공정에 추가로 사용하기 위한 산출물 스트림(168)을 생성시킬 수 있다. 도 1에서는, 애노드 재순환 스트림(185)이 보유물 스트림(166)으로부터 회수되는 것으로 도시되어 있으나, 애노드 재순환 스트림(185)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 CO₂ 함량을 갖는 스트림(139)을 캐소드(129)로부터의 산출물로서 생성시킬 수 있다. 간단하게 하기 위하여, 공정에 유용한 압축 및 열 부가/제거의 다양한 스테이지뿐만 아니라 증기 추가 또는 제거는 도시되지 않는다.

[0293]

상기 나타난 바와 같이, 애노드 배기 가스 상에서 수행되는 다양한 유형의 분리를 임의의 편리한 순서대로 수행할 수 있다. 도 2는 애노드 배기 가스 상에서 분리를 수행하는 다른 순서의 예를 보여준다. 도 2에서는, 애노드 배기 가스(125)를 먼저, 애노드 배기 가스(125)로부터 수소 함량의 일부(263)를 제거하기 위한 분리 스테이지(260)에 통과시킬 수 있다. 이는 예를 들어 애노드 배기 가스의 H₂ 함량을 감소시켜 2:1에 근접하는 H₂ 대 CO

의 비를 갖는 보유물(266)을 제공할 수 있다. 이어, 수성 가스 전화 스테이지(230)에서 H_2 대 CO 의 비를 더 조정하여 목적하는 값을 획득할 수 있다. 이어, 수성 가스 전화된 산출물(235)을 CO_2 분리 스테이지(240) 및 물 제거 스테이지(250)를 통해 통과시켜, 목적하는 화학적 합성 공정으로의 투입물로서 사용하기 적합한 산출물 스트림(275)을 생성시킬 수 있다. 임의적으로는, 산출물 스트림(275)을 추가적인 수성 가스 전화 스테이지(도시되지 않음)에 노출시킬 수 있다. 산출물 스트림(275)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.

[0294]

캐소드 투입물 및 산출물

[0295]

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_2 , 및 연료 전지의 내부 저항에 의해 결정될 수 있다. 부분적으로는 애노드 배기 가스를 캐소드 투입물 스트림의 적어도 일부로서 사용함으로써 캐소드로의 CO_2 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 전력)을 개선하기 위하여 연료 전지를 작동시키는데 추가적인 옵션을 이용할 수 있게 된다.

[0296]

용융 카보네이트 연료 전지에서, 연료 전지의 전해질을 가로지르는 카보네이트 이온의 수송은 CO_2 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_2 의 포획을 용이하게 할 수 있다. CO_2 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_2)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_2 를 캐소드(더 낮은 CO_2 농도)로부터 애노드(더 높은 CO_2 농도)로 수송하도록 할 수 있다. 그러나, 이산화탄소 제거를 위해 용융 카보네이트 연료 전지를 이용함에 있어서의 난점은 연료 전지가 비교적 높은 캐소드 공급물로부터 이산화탄소를 제거하는 능력이 제한된다는 것일 수 있다. 카보네이트 연료 전지에 의해 발생하는 전압 및/또는 전력은 CO_2 농도가 약 2.0부피% 미만으로 떨어짐에 따라 급락하기 시작할 수 있다. 일부 지점에서 CO_2 농도가 더, 예를 들어 약 1.0부피% 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_2 는 상업적으로 가능성 있는 작동 조건 하에서 연료 전지의 캐소드 스테이지로부터의 배기 가스에 존재할 것이다.

[0297]

연료 전지 캐소드(들)에 전달되는 이산화탄소의 양은 캐소드 입구의 공급원의 CO_2 함량에 기초하여 결정될 수 있다. 캐소드 투입물 유동으로서 사용하기 적합한 CO_2 -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, 연소식 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_2 함량은 유동중 소량일 수 있다. 석탄 연소식 연소 공급원 같은 더 높은 CO_2 함량의 배기 가스 유동의 경우에도, 대부분의 상업적인 석탄 연소식 발전소로부터의 CO_2 함량은 약 15부피% 이하일 수 있다. 더욱 일반적으로, 연소 공급원으로부터의 산출물 또는 배기 가스 유동중 CO_2 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_2 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 CO₂ 함량 값이 존재할 수 있음에 주목한다.

[0298]

캐소드 투입물 스트림의 다른 가능한 공급원은 추가로 또는 다르게는 생물-생성된 CO₂의 공급원을 포함할 수 있다. 이는 예를 들어 에탄올 생성 동안 발생하는 CO₂ 같이 생물-유도되는 화합물의 가공 동안 발생하는 CO₂를 포함할 수 있다. 추가적인 또는 다른 예는 리그노셀룰로스의 연소 같은 생물-생성된 연료의 연소에 의해 발생하는 CO₂를 포함할 수 있다. 또 다른 추가적인 또는 다른 가능한 CO₂ 공급원은 강, 시멘트 및/또는 종이 제조하기 위한 플랜트에 의해 발생하는 CO₂-함유 스트림 같은 다양한 산업상의 공정으로부터의 산출물 또는 배기 가스 스트림에 상응할 수 있다.

[0299]

CO₂의 또 다른 추가적인 또는 다른 가능한 공급원은 연료 전지로부터의 CO₂-함유 스트림일 수 있다. 연료 전지로부터의 CO₂-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 CO₂ 농도를 갖는 캐소드 배기 가스를 생성시킬 수 있다. 이러한 CO₂-함유 캐소드 배기 가스를 본 발명의 양태에 따라 작동되는 MCFC의 캐소드 투입물로서 사용할 수 있다. 더욱 일반적으로는, 캐소드 배기 가스로부터 CO₂ 산출물을 발생시키는 연료 전지의 다른 유형뿐만 아니라 "연소" 반응에 의해 및/또는 연소에 의해 전력을 받는 제너레이터에 의해 발생되지 않는 CO₂-함유 스트림의 다른 유형을 추가로 또는 달리 사용할 수 있다. 임의적이지만 바람직하게는, 다른 연료 전지로부터의 CO₂-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.

[0300]

연소 공급원 외의 공급원으로부터의 다양한 유형의 CO₂-함유 스트림에 있어서, 스트림의 CO₂ 함량은 광범위하게 변할 수 있다. 캐소드로의 투입물 스트림중 CO₂ 함량은 약 2부피% 이상, 예컨대 약 4부피% 이상, 또는 약 5부피% 이상, 또는 약 6부피% 이상, 또는 약 8부피% 이상의 CO₂를 함유할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 캐소드로의 투입물 스트림중 CO₂ 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 CO₂ 함량의 스트림에 있어서, CO₂ 함량은 잔량의 다른 화합물과 CO₂로 실질적으로 구성되는 스트림과 같이 약 30부피%보다 더 클 수 있다. 예로서, 배기 가스 재순환이 없는 가스 연소식 터빈은 약 4.2부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. EGR을 이용하여, 가스 연소식 터빈은 약 6 내지 8부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 메탄의 화학량론적 연소는 약 11부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 석탄의 연소는 약 15 내지 20부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 정련 오프-가스를 사용하는 연소식 히터는 약 12 내지 15부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다. 임의의 EGR 없이 낮은 BTU 가스 상에서 작동되는 가스 터빈은 약 12부피%의 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스 스트림을 생성시킬 수 있다.

[0301]

CO₂ 이외에, 캐소드 투입물 스트림은 캐소드 반응에 필요한 성분을 제공하기 위하여 O₂를 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 5부

피% 내지 약 15부피%, 예를 들어 약 7부피% 내지 약 9부피%의 산소 함량에 상응할 수 있다. 많은 유형의 캐소드 투입물 스트림에 있어서, CO_2 와 O_2 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_2 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.

[0302]

CO_2 및 O_2 이외에, 캐소드 투입물 스트림은 또한 N_2 , H_2O , 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_2 , H_2O , 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_2O , 질소의 산화물(NO_x) 및/또는 황의 산화물(SO_x), 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.

[0303]

캐소드 투입물 스트림(예를 들어, 연소 배기 가스에 기초한 캐소드 투입물 스트림)에 존재하는 O_2 의 양은 유리하게는 연료 전지의 캐소드 반응에 필요한 산소를 제공하기에 충분할 수 있다. 그러므로, O_2 의 부피 백분율은 유리하게는 배기 가스중 CO_2 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_2 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_2S 또는 NH_3)을 함유할 수 있다. 다른 양태에서는, 캐소드 투입물 스트림을 세정하여 이러한 오염물질의 함량을 감소시키거나 최소화할 수 있다.

[0304]

전해질을 가로질러 수송하기 위한 카보네이트 이온을 형성하는 반응 이외에, 캐소드의 조건은 또한 질소 산화물의 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_x 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_x 제거 방법은 가스 터빈으로부터의 연소 배기 가스에 기초한 캐소드 투입물 스트림에 유리할 수 있는데, 왜냐하면 이는 NO_x 배출을 감소시키기 위한 메커니즘을 제공할 수 있기 때문이다. 캐소드의 조건은 추가로 또는 다르게는 미연소 탄화수소(캐소드 투입물 스트림중 O_2 와 함께)의 전형적인 연소 생성물(예컨대, CO_2 및 H_2O)로의 전환에 적합할 수 있다.

[0305]

MCFC의 작동에 적합한 온도는 약 450°C 내지 약 750°C , 예컨대 약 500°C 이상일 수 있으며, 입구 온도는 약 550°C 이고, 출구 온도는 약 625°C 이다. 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 연소식 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.

[0306]

연료 전지 배열

[0307]

다양한 양태에서, 연료 전지의 구성 옵션(예컨대, 복수개의 연료 전지 스택을 함유하는 연료 전지 어레이)은 복

수개의 연료 전지 사이에서 CO₂-함유 스트림을 분할하는 것일 수 있다. CO₂-함유 스트림의 몇몇 유형의 공급원은 개별 연료 전지의 용량에 비해 큰 부피 유속을 생성시킬 수 있다. 예를 들어, 산업용 연소 공급원으로부터의 CO₂-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 이들 중 적어도 일부는 병렬 연결될 수 있음) 사이에서 분할할 수 있어서, 각 단위장치에서의 유속이 목적하는 유동 범위 내에 있을 수 있도록 할 수 있다.

[0308]

제 2 구성 옵션은 연료 전지를 직렬로 이용하여, 유동 스트림으로부터 CO₂를 연속적으로 제거할 수 있다. CO₂-함유 스트림을 분배할 수 있는 병렬 연결된 최초 연료 전지의 수에 무관하게, 각각의 최초 연료 전지 후에는 하나 이상의 추가적인 전지가 직렬로 연결되어 추가적인 CO₂를 추가로 제거할 수 있다. 캐소드 산출물중 CO₂의 요구되는 양이 충분히 낮은 경우, 단일 연료 전지 또는 연료 전지 스테이지에서 캐소드 투입물 스트림으로부터 CO₂를 목적하는 수준으로 제거하고자 하는 시도는 연료 전지에 낮은 및/또는 예기치 못한 전압 산출물을 야기할 수 있다. 단일 연료 전지 또는 연료 전지 스테이지에서 CO₂를 목적하는 수준까지 제거하고자 시도하기보다는, 목적하는 수준이 달성될 때까지 연속적인 전지에서 CO₂를 제거할 수 있다. 예를 들어, 일련의 연료 전지의 각 전지를 사용하여 연료 스트림에 존재하는 CO₂의 일부(예를 들어, 약 50%)를 제거할 수 있다. 이러한 예에서, 3개의 연료 전지를 직렬로 사용하면, CO₂ 농도를 감소시킬 수 있다(예를 들어, 존재하는 원래 양의 약 15% 이하까지, 이는 3개의 연료 전지가 직렬인 코스에 걸쳐 CO₂ 농도를 약 6%에서 약 1% 이하로 감소시키는데 상응할 수 있음).

[0309]

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 CO₂를 제거할 수 있다. 이어, 더 낮은 전압에서 목적하는 농도까지 CO₂를 제거하도록 마지막 연료 전지를 작동시킬 수 있다.

[0310]

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 매치될 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 CO₂ 농도를 갖는 캐소드에 상응할 수 있도록 애노드를 역-직렬 연결함을 포함할 수 있다.

[0311]

또 다른 구성에서는, 연료 전지 어레이의 성능을 개선하기 위하여, 하나 이상의 애노드 스테이지로 전달되는 연료의 양 및/또는 하나 이상의 캐소드 스테이지로 전달되는 CO₂의 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, CO₂ 농도는 각각의 연속적인 캐소드 스테이지에서 감소될 수 있다. 이 감소되는 CO₂ 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 CO₂ 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 캐소드에 통과시키는 대신, 연소 배기 가스의 적어도 일부를 후속 캐소드 스테이지에 통과시킬 수 있다. 이는 후속 캐소드 스테이지에서 증가된 CO₂ 함량을 제공할 수 있다. 요구되는 경우 애노드 스테이지 또는 캐소드 스테이지로의 다양한 공급물을 사용하는 또 다른 옵션을 이용할 수 있다.

[0312]

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 CO₂ 및/또는 약 0.5부피% 이상, 또는 약 1.0부피% 이상, 예를 들어 약 1.2부피% 이상 또는 약 1.5부피% 이상의 CO₂를 포함할 수 있다. 이 제한으로 인해, 용융 카보네이트 연료 전지를 이용하는 경우 CO₂ 제거의 순 효율은 캐소드 투입물중 CO₂의 양에 따라 달라질 수 있다. 약 6부피% 이상, 예컨대 약 8% 이상의 CO₂ 함량을 갖는 캐소드 투입물 스트림에 있어서, 제거될 수 있는 CO₂의 양에 대한 제한은 극심하지 않다. 그러나, 전형적으로 가스 터빈에서 발견되는 것과 같이, 연료로서 천연 가스를 사용하는 과량의 공기와의 연소 반응에 있어서, 연소 배기 가스중 CO₂의 양은 약 5부피% 미만의 캐소드 투입물에서의 CO₂ 농도에 상응할 수 있다. 배기 가스 재순환을 이용하여, 캐소드 투입물에서의 CO₂의 양을 약 5부피% 이상, 예를 들어 약 6부피% 이상까지 증가시킬 수 있다. 연료로서 천연 가스를 사용하여 약 6부피%를 초과하는 CO₂ 농도를 생성하는 경우 EGR이 증가하면, 연소기의 인화성이 감소될 수 있고, 가스 터빈이 불안정해질 수 있다. 그러나, H₂가 연료에 첨가되는 경우, 인화성 창이 상당히 증가하여, 배기 가스 재순환의 양을 추가로 증가시킴으로써, 약 7.5부피% 이상 또는 약 8부피% 이상의 캐소드 투입물에서의 CO₂ 농도를 달성할 수 있다. 예로서, 캐소드 배기 가스에서의 약 1.5부피%의 제거 한계에 기초하여, 캐소드 투입물에서의 CO₂ 함량을 약 5.5부피%에서 약 7.5부피%까지 증가시키는 것은 궁극적인 CO₂ 분리를 위해 연료 전지를 사용하여 포획될 수 있고 애노드 루프로 수송될 수 있는 CO₂의 양의 약 10% 증가에 상응할 수 있다. 캐소드 산출물중 O₂의 양은 추가로 또는 다르게는 전형적으로 제거되는 CO₂의 양에 비례하는 양으로 감소될 수 있으며, 이는 캐소드 출구에서 다른 (비-캐소드-반응성) 물질의 양(들)을 상응하게 소량 증가시킬 수 있다.

[0313]

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 CO₂의 양은 캐소드 투입물 스트림중 CO₂의 양 및 연료 전지 에너지 산출물을 개선하거나 최대화하는데 요구되는 작동 조건에서의 CO₂ 이용률에 관련될 수 있다.

[0314]

추가로 또는 다르게는, 작동 조건에 따라, MCFC는 캐소드 배기 가스 스트림중 CO₂ 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 CO₂ 함량은 약 0.9부피% 이상, 예컨대 약 1.0부피% 이상, 또는 약 1.2부피% 이상, 또는 약 1.5부피% 이상일 수 있다.

[0315]

용융 카보네이트 연료 전지 작동

[0316]

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 CO₂를 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. 임의적으로는, 그러나 바람직하지 못하게는, 애노드 산출물의 구성성분을 연소시켜, 1회 통과 방식 동안 연료 전지에 열을 제공할 수 있다.

- [0317] 도 3은 전력을 발생시키기 위한 MCFC의 작동의 개략적인 예를 도시한다. 도 3에서, 연료 전지의 애노드 부분은 투입물로서 연료와 수증기(H_2O)를 받아들일 수 있고, 물, CO_2 , 및 임의적으로는 과량의 H_2 , CH_4 (또는 다른 탄화수소) 및/또는 CO의 산출물을 갖는다. 연료 전지의 캐소드 부분은 투입물로서 CO_2 와 약간의 산화제(예컨대, 공기/ O_2)를 받아들일 수 있고, O_2 가 고갈된 산화제(공기) 중에 감소된 양의 CO_2 에 상응하는 산출물을 갖는다. 연료 전지 내에서는, 캐소드 측에서 형성된 CO_3^{2-} 이온을 전해질을 가로질러 수송하여, 애노드에서 이루어지는 반응에 필요한 카보네이트 이온을 제공할 수 있다.
- [0318] 도 3에 도시된 예시적인 연료 전지 같은 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 몇 가지 반응이 이루어질 수 있다. 개질 반응은 임의적일 수 있고, 충분한 H_2 가 애노드에 직접 제공된다면 개질 반응이 감소되거나 제거될 수 있다. 하기 반응은 CH_4 에 기초한 것이지만, 다른 연료가 연료 전지에 사용되는 경우 유사한 반응이 일어날 수 있다.
- [0319] (1) <애노드 개질> $CH_4 + H_2O \Rightarrow 3H_2 + CO$
- [0320] (2) <수성 가스 전화> $CO + H_2O \Rightarrow H_2 + CO_2$
- [0321] (3) <복합 개질 및 수성 가스 전화> $CH_4 + 2H_2O \Rightarrow 4H_2 + CO_2$
- [0322] (4) <애노드 H_2 산화> $H_2 + CO_3^{2-} \Rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$
- [0323] (5) <캐소드> $\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \Rightarrow CO_3^{2-}$
- [0324] 반응 (1)은 연료 전지의 애노드에 사용하기 위한 H_2 를 발생시키는 기본 탄화수소 개질 반응을 나타낸다. 반응 (1)에서 생성된 CO를 수성 가스 전화 반응 (2)에 의해 H_2 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.
- [0325] 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 발생하는 H_2 를 카보네이트 이온과 결합시켜 H_2O , CO_2 , 및 회로로의 전자를 형성시킨다. 반응 (5)는 O_2 , CO_2 , 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.
- [0326] 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_2 , CH_4 및/또는 CO) 및 애노드 출구 스트림 또는 유동의 합성 가스(H_2 , CO 및/또는 CO_2)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.
- [0327] 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.

[0328]

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_2 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.

[0329]

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 투입물로 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.

[0330]

추가로 또는 다르게는, 연료 전지의 작동 목적은 발전을 허용하는 것 이외에 연소 반응 또는 CO_2 산출물 스트림을 생성하는 다른 공정의 산출물 스트림으로부터 CO_2 를 분리하는 것일 수 있다. 이러한 양태에서는, 연소 반응(들)을 이용하여 하나 이상의 제너레이터 또는 터빈에 전력을 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 전력을 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.

[0331]

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.

[0332]

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

공급할 수 있다(예를 들어, 이러한 경우에는, 최고 농도인 "제 1"로부터 최저 농도인 "최종"까지, 복합 투입 공급물 조성중 하나 이상의 성분, 예컨대 CO₂의 농도 수준에 의해 통상적인 순서를 결정할 수 있으며, 대략 유사한 조성 차이는 동일한 순서 수준을 나타낸다).

[0333]

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.

[0334]

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.

[0335]

포획 후 CO₂ 산출물의 용도

[0336]

본 발명의 다양한 양태에서, 상기 기재된 시스템 및 방법은 가압된 유체로서 이산화탄소를 생성시킬 수 있다. 예를 들어, 극저온 분리 스테이지로부터 발생되는 CO₂는 처음에는 약 90% 이상, 예를 들어 약 95% 이상, 약 97% 이상, 약 98% 이상, 또는 약 99% 이상의 순도를 갖는 가압된 CO₂ 액체에 상응할 수 있다. 예컨대 이차적인 정유에서와 같이 오일 또는 가스 회수를 추가로 향상시키기 위하여 유정으로의 주입에 이 가압된 CO₂ 스트림을 사용할 수 있다. 가스 터빈을 포괄하는 설비 부근에서 수행되는 경우, 전체 시스템은 전력/기계적 전력의 사용 및/또는 전체 시스템과의 열 통합을 통해 추가적인 상승작용의 이점을 가질 수 있다.

[0337]

다르게는, 석유 회수 증진(EOR) 용도 전용(즉, 엄격한 조성 기준을 가지면서 파이프라인 시스템과 혼합되지 않음) 시스템의 경우, CO₂ 분리 조건은 실질적으로 완화될 수 있다. EOR 용도는 O₂의 존재에 감수성일 수 있으며, 따라서 O₂는 일부 실시양태에서 EOR에 사용하고자 하는 CO₂ 스트림에 존재하지 않을 수 있다. 그러나, EOR 용도는 용해된 CO, H₂ 및/또는 CH₄에 대해 낮은 감수성을 갖는 경향이 있을 수 있다. 또한, CO₂를 수송하는 파이프라인은 이들 불순물에 감수성일 수 있다. 이들 용해된 기체는 전형적으로 EOR에 사용되는 CO₂의 가용화능에 감지하기 힘든 영향만을 가질 수 있다. EOR 가스로서 CO, H₂ 및/또는 CH₄ 같은 기체를 주입하면 열량값 회수에 약간의 손실을 야기할 수 있으나, 이러한 기체는 EOR 용도에 상용가능하다.

[0338]

추가로 또는 다르게는, 가압된 액체로서의 CO₂의 가능한 용도는 조류 재배/수확 같은 생물학적 공정에서의 영양소일 수 있다. CO₂ 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, H₂, N₂ 등 및 이들의 조합)를 갖는 CO₂-함유 스트림을 생성시킬 수 있다. 이는 대부분의 산업적인 공급원에 의해 발생되는 산출물 스트림(이는 흔히 중금속 같은 매우 독성일 수 있는 물질을 함유할 수 있음)과는 극명하게 대조될 수 있다.

[0339]

본 발명의 이러한 유형의 양태에서는, 애노드 루프에서의 CO₂의 분리에 의해 발생되는 CO₂ 스트림을 사용하여 생물 연료 및/또는 화합물뿐만 아니라 이들의 전구물질을 생성시킬 수 있다. 또한 추가로 또는 다르게는, CO₂를 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 CO₂(약 4 내지 15%)를 함유하는 고온 가스를 방출시킬 수 있다. 이들 물질은 통상 조류 연료 또는 생물 연료 "농장"으로 회수된 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 CO₂ 스트림(건조 기준으로 약 60 내지 70부피%)을 생성시킬 수 있다. 이어, 이 스트림을 비교적 저렴한 비용으로 긴 거리에 걸쳐 용이하고 효율적

으로 수송할 수 있고 넓은 면적에 걸쳐 효과적으로 분배할 수 있다. 이들 실시양태에서, 연소 공급원/MCFC로부터의 잔류 열은 전체 시스템 내로 통합될 수 있다.

[0340]

CO₂ 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 CO₂ 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 CH₄ 함량을 감소시킬 수 있고, 임의적으로는 추가로 또는 달리 수성 가스 전화를 수행하여 임의의 잔류 CO를 CO₂ 및 H₂로 만들 수 있다.

[0341]

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 CO₂가 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 연소식 히터용 연료로서 사용할 수 있고/있거나, 수소를 터빈 같은 발전기용 공급물로서 사용할 수 있다. MCFC 연료 전지로부터의 수소는 가능하게는 연료 전지에 의해 전력을 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.

[0342]

다른 옵션은 애노드 산출물로서 발생된 합성 가스를 추가로 또는 달리 사용하는 것일 수 있다. 물론, 연료에 기초한 합성 가스가 연료로서 탈 때 여전히 일부 CO₂ 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 전화 촉매를 사용하는 피셔-트롭쉬 공정으로의 합성 가스 공급물에 소량의 CO₂가 허용될 수 있음에 주목한다. 하이드로포밀화는 합성 가스 투입물을 사용할 수 있는 또 다른 합성 공정의 추가적인 또는 다른 예이다.

[0343]

MCFC를 사용하여 합성 가스를 생산하는데 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 기체 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.

[0344]

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 CO₂ 및 O₂를 수송하고, 캐소드 산출물은 더 낮은 농도의 CO₂ 및 O₂, 따라서 공기에서 발견되는 것보다 더 높은 농도의 N₂를 가질 수 있다. 잔류 O₂ 및 CO₂의 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 CO₂를 투입 공급물로서 추가로 또는 달리 사용할 수 있음에 주목한다.

[0345]

통합 예: 연소 터빈과의 통합의 용도

[0346]

본 발명의 몇몇 양태에서는, 전력을 발생시키기 위한 또는 CO₂-함유 배기 가스를 배기시키기 위한 연소 공급원을 용융 카보네이트 연료 전지의 작동과 통합시킬 수 있다. 적합한 연소 공급원의 예는 가스 터빈이다. 바람직하

게는, 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℃ 내지 700℃, 바람직하게는 500℃ 내지 650℃에서 생성되는 CO₂-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 연소식 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, CO₂-함유 배기 가스의 공급원은 보일러, 연소기, 또는 탄소가 풍부한 연료를 태우는 다른 열 공급원일 수 있다. 다른 추가적인 또는 다른 실시양태에서, CO₂-함유 배기 가스의 공급원은 다른 공급원과 합쳐진 생물-생성된 CO₂ 일 수 있다.

[0347]

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 H₂O, CO₂, 임의적으로는 CO, 및 임의적으로 그러나 전형적으로는 미반응 연료(예컨대, H₂ 또는 CH₄)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, H₂ 또는 CO)으로부터 CO₂를 분리하기 위하여 애노드 산출물 스트림 상에서 하나 이상의 분리를 수행할 수 있다. 이어, 열량값을 갖는 성분을 애노드 투입물로 재순환시킬 수 있다.

[0348]

이 유형의 구성은 하나 이상의 이점을 제공할 수 있다. 첫째, 예를 들어 극저온 CO₂ 분리를 사용함으로써 애노드 산출물로부터 CO₂를 분리할 수 있다. 애노드 산출물의 성분중 몇 가지(H₂, CO, CH₄)는 용이하게 응축될 수 없는 성분인 반면, CO₂와 H₂O는 응축된 상으로서 개별적으로 분리될 수 있다. 실시양태에 따라, 애노드 산출물중 CO₂의 약 90부피% 이상을 분리하여, 비교적 고순도 CO₂ 산출물 스트림을 형성시킬 수 있다. 다르게는, 몇몇 양태에서는, 더 적은 CO₂를 애노드 산출물로부터 제거하여 애노드 산출물중 CO₂의 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 CO₂ 및/또는 H₂O에 상응할 수 있다. 분리 후 애노드 산출물의 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.

[0349]

애노드 배기 가스중 일부를 애노드 투입물로 재순환시키기에 추가적으로 또는 그와는 달리, 다른 구성 옵션은 터빈 또는 다른 연소 장치(예컨대, 보일러, 로 및/또는 연소식 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 CO₂ 및/또는 H₂O를 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 실시양태에 추가적으로 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 실시양태에 추가적으로 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.

- [0350] 본 발명의 또 다른 양태에서, 연소 장치용 연료는 추가로 또는 달리 불활성이고/이거나 연료에서 희석제로서 작용하는 성분을 증가된 양으로 갖는 연료일 수 있다. CO_2 및 N_2 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_2 를 함유하는 연료 공급물, 또는 약 40부피% 이상의 N_2 를 함유하는 연료 공급물, 또는 유사한 급랭능을 제공하기에 충분한 불활성 열용량을 갖는 CO_2 와 N_2 의 조합을 함유하는 연료 공급물을 포함할 수 있다. (CO_2 가 N_2 보다 더 큰 열용량을 갖고, 따라서 더 낮은 CO_2 농도가 더 높은 N_2 농도와 유사한 영향을 가질 수 있음에 주목한다. CO_2 는 또한 N_2 보다 더 용이하게 연소 반응에 참여할 수 있고, 그렇게 하는 동안 연소로부터 H_2 를 제거할 수 있다. 이러한 H_2 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.
- [0351] 충분한 양의 불활성 성분이 연료 공급물에 존재하는 경우, 생성되는 연료 공급물은 공급물의 연료 성분의 인화성 창 외부에 존재할 수 있다. 이러한 유형의 상황에서는, 애노드 배기 가스의 재순환된 부분으로부터의 H_2 를 제너레이터의 연소 대역으로 첨가하여 연료 공급물과 H_2 의 조합의 인화성 창을 확장시킬 수 있으며, 이는 예를 들어 약 20부피% 이상의 CO_2 또는 약 40부피% 이상의 N_2 (또는 CO_2 와 N_2 의 다른 조합)를 함유하는 연료 공급물이 성공적으로 연소되도록 할 수 있다.
- [0352] 연소 대역으로 전달되는 연료 공급물과 H_2 의 총 부피에 대해, 인화성 창을 확장시키기 위한 H_2 의 양은 연료 공급물과 H_2 의 총 부피의 약 5부피% 이상, 예컨대 약 10부피% 이상 및/또는 약 25부피% 이하일 수 있다. 인화성 창을 확장시키기 위해 첨가되는 H_2 의 양을 특징화시키는 다른 옵션은 H_2 첨가 전에 연료 공급물에 존재하는 연료 성분의 양에 기초할 수 있다. 연료 성분은 메탄, 천연 가스, 다른 탄화수소, 및/또는 연소에 의해 전력을 얻는 터빈 또는 다른 제너레이터의 연료로서 통상적으로 보여지는 다른 성분에 상응할 수 있다. 연료 공급물에 첨가되는 H_2 의 양은 연료 공급물중 연료 성분의 부피의 약 1/3(1:3의 비의 H_2 :연료 성분), 예를 들어 연료 성분의 부피의 약 1/2(1:2의 비)에 상응할 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연료 공급물에 첨가되는 H_2 의 양은 연료 공급물중 연료 성분의 부피와 대략 동일하거나 그보다 적을 수 있다(1:1의 비). 예를 들어, 약 30부피%의 CH_4 , 약 10%의 N_2 및 약 60%의 CO_2 를 함유하는 공급물의 경우, 약 1:2의 비의 H_2 대 CH_4 를 획득하기에 충분한 양의 애노드 배기 가스를 연료 공급물에 첨가할 수 있다. H_2 만 함유하는 이상화된 애노드 배기 가스의 경우, 1:2의 비를 획득하기 위한 H_2 의 첨가는 약 26부피%의 CH_4 , 13부피%의 H_2 , 9부피%의 N_2 및 52부피%의 CO_2 를 함유하는 공급물을 생성시킨다.
- [0353] 배기 가스 재순환
- [0354] CO_2 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_2 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_2 함량을 증가시킴으로써 더 많은 이점을 얻을 수 있다.
- [0355] 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.

- [0356] 본 발명의 하나 이상의 양태에서는, 산화제(예컨대, 공기 및/또는 산소가 풍부한 공기)와 연료의 혼합물을 연소 시키고, (동시에) 재순환된 배기 가스 스트림과 혼합할 수 있다. 통상 CO_2 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_2 함량을 가짐으로써 팽창기가 동일한 입구 및 방출 온도에 대해 더 높은 팽창비에서 작동하도록 하여 상당히 증가된 전력 생산을 가능케 할 수 있다.
- [0357] 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 전력 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.
- [0358] 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 수득할 수 있다.
- [0359] 연료와 산화제 이외에, 연소 챔버는 임의적으로 주로 CO_2 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_2 농도를 증가시키는 역할을 할 수 있다.
- [0360] 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_2 함량을 가질 수 있다. 배기 가스가 팽창기를 통해 팽창됨에 따라, 이는 주 압축기를 구동시키고/시키거나 발전기를 구동시키고/시키거나 다른 설비에 전력을 제공하는 기계적 전력을 생성시킬 수 있다.
- [0361] 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 전력-생성 폐쇄 랭킨(Rankine) 사이클로서 특징지어질 수 있다. 가스 터빈 시스템과의 조합에서, HRSG와 증기 가스 터빈은 천연 가스 통합-사이클(IGCC) 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/키거나, 열을 전달하여 증기를 형성하고/시키거나, 스트림의 압력을 목적하는 수준으로 변화시키기 위한 다양한 단위장치를 포함할 수 있다. 특정 실시양태에서는, 증기를 증기 가스 터빈으로 보내어 추가적인 전력을 생성시킬 수 있다.
- [0362] HRSG를 통해 통과시키고 적어도 일부의 H_2O 를 임의적으로 제거한 후, CO_2 -함유 배기 가스 스트림은 일부 실시양태에서 연소 반응으로의 투입물로서 사용하기 위해 재순환될 수 있다. 상기 나타낸 바와 같이, 배기 가스 스트

림을 압축시켜(또는 감압시켜) 연소 반응용 용기 내에서 목적하는 반응 압력을 매치시킬 수 있다.

[0363] 통합 시스템의 예

[0364] 도 4는 터빈에 전력을 제공하기 위한 연소 반응에 CO₂-함유 재순환 배기 가스 및 연료 전지 애노드 배기 가스로부터의 H₂ 또는 CO 둘 다를 도입함을 포함하는 통합 시스템의 일례를 도시한다. 도 4에서, 터빈은 압축기(402), 샤프트(404), 팽창기(406), 및 연소 대역(415)을 포함할 수 있다. 산소 공급원(411)(예컨대, 공기 및/또는 산소가 풍부한 공기)을 재순환된 배기 가스(498)와 합치고, 연소 대역(415)에 들어가기 전에 압축기(802)에서 압축시킬 수 있다. CH₄ 같은 연료(412) 및 임의적으로는 H₂ 또는 CO를 함유하는 스트림(187)을 연소 대역에 전달할 수 있다. 연료와 산화제를 대역(415)에서 반응시키고, 임의적으로 그러나 바람직하게는 팽창기(406)를 통해 통과시켜 전력을 발생시킬 수 있다. 팽창기(406)로부터의 배기 가스를 사용하여 2개의 스트림, 예를 들어 CO₂-함유 스트림(422)(연료 전지 어레이(425)의 투입 공급물로서 사용될 수 있음) 및 다른 CO₂-함유 스트림(492)(예를 들어 증기 터빈(494)을 이용하여 추가적인 전기를 발생시키도록 할 수 있는 열 회수 및 증기 발생기 시스템(490)의 투입물로서 사용될 수 있음)을 형성시킬 수 있다. CO₂-함유 스트림으로부터 H₂O의 일부를 임의적으로 제거하면서 열 회수 시스템(490)을 통해 통과시킨 후, 산출물 스트림(498)을 압축기(402) 또는 도시되지 않은 제 2 압축기에서의 압축을 위해 재순환시킬 수 있다. 연소 대역(415)으로 첨가하기 위해 요구되는 CO₂의 양에 기초하여, CO₂-함유 스트림(492)에 사용되는 팽창기(406)로부터의 배기 가스의 분량을 결정할 수 있다.

[0365] 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 4에 도시된 유동의 EGR 비는 스트림(422, 492)의 합쳐진 유속으로 나누어진 스트림(422)의 유속이다.

[0366] CO₂-함유 스트림(422)을 용융 카보네이트 연료 전지(425)의 캐소드 부분(도시되지 않음)에 통과시킬 수 있다. 연료 전지 어레이(425) 내에서의 반응에 기초하여, CO₂를 스트림(422)로부터 분리하고 연료 전지 어레이(425)의 애노드 부분(도시되지 않음)으로 수송할 수 있다. 이는 CO₂가 고갈된 캐소드 산출물 스트림(424)을 생성시킬 수 있다. 이어, 캐소드 산출물 스트림(424)을, 열 교환의 발생 및/또는 증기 터빈(454)(이는 임의적으로는 전술한 증기 터빈(494)과 동일할 수 있음)을 이용하여 추가적으로 전기를 발생시키기 위한 열 교환(및 임의적인 증기 제너레이터) 시스템(450)에 통과시킬 수 있다. 열 교환 및 증기 제너레이터 시스템(450)을 통해 통과시킨 후, 생성된 연도 가스 스트림(456)을 환경으로 배출시키고/시키거나 아민 스크러버 같은 다른 유형의 탄소 포획 기술을 통해 통과시킬 수 있다.

[0367] 연료 전지 어레이(425)의 캐소드 측으로부터 애노드 측으로 CO₂를 수송한 후, 애노드 산출물(435)을 임의적으로는 수성 가스 전화 반응기(470)에 통과시킬 수 있다. 수성 가스 전화 반응기(870)를 이용하여 애노드 산출물(435)에 존재하는 CO(및 H₂O)를 소비하여 추가적인 H₂와 CO₂를 생성시킬 수 있다. 이어, 임의적인 수성 가스 전화 반응기(470)로부터의 산출물을 저온 박스 또는 극저온 분리기 같은 하나 이상의 분리 스테이지(440)에 통과시킬 수 있다. 이는 애노드 산출물의 나머지 부분으로부터 H₂O 스트림(447)과 CO₂ 스트림(449)을 분리시킬 수 있다. 애노드 산출물의 나머지 부분(485)은 연료 전지 어레이(425)에서 개질에 의해 발생되지만 소비되지 않은 미반응 H₂를 포함할 수 있다. H₂-함유 스트림(485)의 제 1 부분(445)을 연료 전지 어레이(425)의 애노드(들)에 대한 투입물로 재순환시킬 수 있다. 스트림(485)의 제 2 부분(487)을 연소 대역(415)의 투입물로서 사용할 수 있다. 제 3 부분(465)을 다른 목적에서와 같이 사용하고/하거나 다른 후속 사용을 위해 처리할 수 있다. 도 4 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.

[0368] 도 4에서, 배기 가스 재순환 루프의 배기 가스는 제 1 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(490)에 의해 제공되는 한편, 제 2 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(450)은 연료 전지 어레이(425)의 캐소드 산출물로부터 과량의 열을 포획하는데 사용될 수 있다. 도 5는 연료 전지 어레이 산출물을 처리하는데 사용되는 동일한 열 회수 증기 제너레이터에 의해 배기 가스 재순환 루프가 제공되는 다른 실시양태를 도시한다. 도 5에서, 재순환된 배기 가스(598)는 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템(550)에 의해 연도 가스 스트림(556)의 일부로서 제공된다. 이는 터빈에 수반되는 별도의 열 회수 및 증기 제너레이터 시스템을 없앨 수 있다.

[0369] 본 발명의 다양한 실시양태에서, 공정은 터빈, 내연 기관, 또는 연소 반응에 의해 발생하는 열 및/또는 압력이

다른 전력 형태로 전환될 수 있는 다른 시스템에 전력을 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 CO₂ 함량(예를 들어, 약 2부피% 이상 내지 약 25부피% 이하)을 가질 수 있다. 그러므로, 연료가 탄소질인 특정 실시양태에서, 배기 가스의 CO₂ 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, CO₂ 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 CO₂ 함량을 갖는 배기 가스(탄소질 연료의 경우)는 천연 가스 같은 연료 상에서의 연소 반응 [희박(과량의 공기) 연소]으로부터의 배기 가스에 상응할 수 있다. 더 높은 상대적인 CO₂ 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.

[0370]

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 함량은 연소에 의해 전력을 얻는 제너레이터의 구성에 따라 달라지는 값의 범위를 나타낼 수 있다. 배기 가스의 재순환은 약 6부피% 이상의 CO₂ 함량을 획득하는데 유리할 수 있는 한편, 연소 반응으로의 수소의 첨가는 CO₂ 함량을 추가로 증가시켜 약 7.5부피% 이상의 CO₂ 함량을 달성할 수 있도록 한다.

[0371]

다른 구성-고 강도율(severity) NO_x 터빈

[0372]

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_x)의 충분히 낮은 농도를 달성하도록 특정 한도 미만으로 제어될 수 있다는 것일 수 있다. 배출가스 규제 한계는 연소 배기 가스가 환경으로 배출될 때 약 20vppm 이하, 가능하게는 10vppm 이하의 NO_x 농도를 갖기를 요구할 수 있다.

[0373]

천연 가스 연소식 연소 터빈에서의 NO_x 형성은 온도 및 체류 시간의 함수일 수 있다. NO_x를 형성시키는 반응은 약 1500°F의 화염 온도 미만에서는 그 중요성이 감소되고/되거나 최소화될 수 있지만, 온도가 이 지점을 지나 증가함에 따라 NO_x 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 특성에 의해 제한될 수 있다. 초기 가스 터빈은 전형적으로는 온도가 1500°F보다 더 높은 화학량론적 대역을 갖는 확산 화염에서 연소를 수행하여 더 높은 NO_x 농도를 생성시켰다. 더욱 최근에는, '건조 저 NO_x'(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 증으로 혼합할 수 있고, 더 적은 희석 공기를 후속 혼합하여 온도를 약 1200°F의 터빈-팽창기 입구 온도까지 낮출 수 있다. DLN 버너의 단점은 턴다운(turn-down)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 CO₂ 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_x를 유지하는데 덜 효과적이 될 수 있다.

[0374]

본 발명의 다양한 양태에서, 가스 터빈을 탄소 포획을 위한 연료 전지와 통합하는 시스템은 추가적인 NO_x 배출을 감소시키고/시키거나 최소화하면서 더 높은 연소 대역 온도의 사용을 허용할 수 있을 뿐만 아니라 현재 DLN 버

너와 양립불가능한 터빈 연료의 사용을 통해 DLN-같은 NO_x 억제를 가능케 할 수 있다. 이러한 양태에서, 터빈은 더 높은 전력에서(즉, 더 높은 온도에서) 작동되어 더 높은 NO_x 배출을 야기할 뿐만 아니라 더 높은 산출 전력 및 가능하게는 더 높은 효율을 야기할 수 있다. 본 발명의 일부 양태에서, 연소 배기 가스중 NO_x 의 양은 약 20vppm 이상, 예컨대 약 30vppm 이상 또는 약 40ppm 이상일 수 있다. 추가로 또는 다르게는, 연소 배기 가스중 NO_x 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_x 수준을 규제에 의해 요구되는 수준까지 감소시키기 위하여, 몇 가지 메카니즘 중 하나를 통한 열에 의한 NO_x 파괴에 의해, 예를 들어 기상에서의 단순 열 파괴, 연료 전지 어레이에서 니켈 캐소드 측으로부터 촉진되는 파괴, 및/또는 소량의 암모니아, 우레아 또는 다른 환원제를 주입함으로써 연료 전지 전에 이루어지는 보조 열 파괴에 의해, 생성되는 NO_x 를 평형화시킬 수 있다. 애노드 배기 가스로부터 유래되는 수소를 도입함으로써 이를 보조할 수 있다. NO_x 를 캐소드 표면에서 반응시킬 수 있고 파괴시킬 수 있는 전기 화학적 파괴를 통해, 연료 전지의 캐소드에서 NO_x 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_x 감소 방법과 관련하여, 연료 전지/연료 전지 어레이로부터 예상되는 NO_x 감소는 연료 전지 캐소드로의 투입물중 NO_x 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 황 화물 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.

[0375] 추가 실시양태

[0376] 이 실시양태의 군은 군 A이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미이다.

[0377] 실시양태 1. 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 약 65% 이하(예를 들어, 약 60% 이하, 약 55% 이하, 약 50% 이하, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)의 연료 이용률 및 전지 작동 전압 대 전지 최대 전압의 비가 약 0.65 이하(예를 들어, 약 0.64 이하, 약 0.63 이하, 약 0.62 이하, 또는 약 0.61 이하)인 전지 작동 전압에서 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림 또는 이들의 조합으로 분리함을 포함하는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법.

[0378] 실시양태 2. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1의 방법.

[0379] 실시양태 3. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 산화되어 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 75% 이상(예컨대, 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 또는 2의 방법.

[0380] 실시양태 4. 캐소드의 CO_2 이용률이 약 50% 이상(예컨대, 약 60% 이상)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.

[0381] 실시양태 5. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 , 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.

[0382] 실시양태 6. 애노드 배기 가스가, 약 1.5:1 내지 약 10.0:1(예를 들어, 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 대 CO 몰

비로 H_2 및 CO 를 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0383] 실시양태 7. H_2 -함유 스트림이 약 90% 이상의 H_2 (예를 들어, 약 95부피%의 H_2 , 또는 약 98부피%의 H_2)를 함유하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0384] 실시양태 8. 캐소드 입구 스트림이 약 20부피% 이하의 CO_2 (예컨대, 약 15부피% 이하의 CO_2 또는 약 12부피% 이하의 CO_2)를 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0385] 실시양태 9. 상기 방법이 H_2 -함유 스트림의 적어도 일부를 연소 터빈으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0386] 실시양태 10. 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0387] 실시양태 11. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.25, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.9, 또는 약 0.25 내지 약 0.85)의 열 비에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0388] 실시양태 12. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 적어도 약 2.0:1(예컨대, 적어도 약 2.5:1 또는 적어도 약 3:1)인, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0389] 실시양태 13. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예를 들어, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 또는 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예컨대, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0390] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 $150mA/cm^2$ 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 $40mW/cm^2$ 이상(예를 들어, 약 $50mW/cm^2$ 이상, 약 $60mW/cm^2$ 이상, 약 $80mW/cm^2$ 이상, 또는 약 $100mW/cm^2$ 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $100^\circ C$ 이하(예를 들어, 약 $80^\circ C$ 이하 또는 약 $60^\circ C$ 이하)로 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하고, 임의적으로는 흡열성 반응을 수행하여 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 70% 이상)을 소비하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0391] 실시양태 15. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%이고, 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상인, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0392] 실시양태의 이 군은 군 B이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0393] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 전기를 생산하는 방법으로서, 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림, 에너지 함량이 낮은 연료 스트림 및 O_2 -함유 스트림을 연소 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 생성하고; 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합으로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 H_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 분리하여 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 형성함을 포함하고, 이 때 상기 재순환된 애노드 배기 가스 연료 스트림이 H_2 를 포함하고, 상기 에너지 함량이 낮은 연료 스트림이 약 30부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는, 방법.
- [0394] 실시양태 2. 에너지 함량이 낮은 연료 스트림이 약 35부피% 이상의 하나 이상의 불활성 기체를 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0395] 실시양태 3. 에너지 함량이 낮은 연료 스트림 중의 하나 이상의 불활성 기체가 CO_2 , N_2 또는 이들의 조합인, 실시양태 1 또는 2의 방법.

- [0396] 실시양태 4. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 약 65% 이하(예를 들어, 약 60% 이하)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0397] 실시양태 5. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 약 30% 내지 약 50%인, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0398] 실시양태 6. 상기 방법이 애노드 배기 가스 스트림의 애노드-재순환 부분을 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0399] 실시양태 7. 개질가능한 연료가 CH_4 를 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0400] 실시양태 8. 캐소드 입구 스트림이 연소 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0401] 실시양태 9. 연소 배기 가스가 약 10부피% 이하의 CO_2 (예컨대, 약 8부피% 이하의 CO_2)를 포함하고, 연소 배기 가스가 임의적으로 약 4부피% 이상의 CO_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0402] 실시양태 10. 애노드 배기 가스 스트림이 약 5.0부피% 이상(예를 들어, 약 10부피% 이상, 또는 약 15부피% 이상)의 H_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0403] 실시양태 11. 상기 방법이 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 분리하여 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 형성하기 전에 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이때 전화된 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량이 노출시키기 전의 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량보다 더 큰, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0404] 실시양태 12. 재순환되는 애노드 배기 가스 스트림을 연소 대역에 통과시키기 전에, 재순환되는 애노드 배기 가스 연료 스트림을 에너지 함량이 낮은 연료 스트림과 합치는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0405] 실시양태 13. 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO_2 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0406] 이 실시양태의 군은 군 C이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0407] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 연료 스트림 및 O_2 -함유 스트림을 연소 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여, CO_2 를 포함하는 연소 배기 가스를 생성하고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 포함하는 캐소드 입구 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여, 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터 캐소드 배기 가스 스트림을 형성하고; 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 H_2 와 반응시켜 전기 및 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터 CO_2 및 H_2 를 포함하는 애노드 배기 가스 스트림을 생성하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리시켜 CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성하고; CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 연소-재순환 부분을 연소 대역에 통과시키고; CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 애노드-재순환 부분을 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 포함하고, 이 때 상기 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 연료 전지 애노드 및 하나 이상의 연료 전지 캐소드를 포함하고, 상기 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 대역과 작동가능하게 연결되는, 방법.
- [0408] 실시양태 2. 하나 이상의 연료 전지 애노드에서의 연료 이용률이 약 65% 이하(예컨대, 약 60% 이하)인, 실시양태 1의 방법.
- [0409] 실시양태 3. 하나 이상의 연료 전지 애노드에서의 연료 이용률이 약 30% 내지 약 50%인, 실시양태 2의 방법.
- [0410] 실시양태 4. 하나 이상의 연료 전지 애노드가 복수개의 애노드 스테이지를 포함하고, 하나 이상의 연료 전지 캐소드가 복수개의 캐소드 스테이지를 포함하며, 복수개의 애노드 스테이지중 이용률이 낮은 애노드 스테이지가

65% 이하(예를 들어, 약 60% 이하)의 애노드 연료 이용률을 가지며, 이용률이 낮은 애노드 스테이지가 복수개의 캐소드 스테이지의 이용률이 높은 캐소드 스테이지에 상응하고, 이용률이 높은 캐소드 스테이지가 복수개의 캐소드 스테이지의 임의의 다른 캐소드 스테이지의 캐소드 입구에서의 CO₂만큼 또는 그보다 더 많은 캐소드 입구에서의 CO₂ 함량을 갖는, 실시양태 2의 방법.

- [0411] 실시양태 5. 이용률이 낮은 애노드 스테이지의 연료 이용률이 약 40% 이상(예를 들어, 약 45% 이상 또는 약 50% 이상)인, 실시양태 4의 방법.
- [0412] 실시양태 6. 복수개의 애노드 스테이지의 각 애노드 스테이지에서의 연료 이용률이 약 65% 이하(예를 들어, 약 60% 이하)인, 실시양태 4의 방법.
- [0413] 실시양태 7. CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 연소-재순환 부분이 CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 약 25% 이상을 차지하고, CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 애노드-재순환 부분이 CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 약 25% 이상을 구성하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0414] 실시양태 8. 상기 방법이 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시킴을 추가로 포함하고, 이때 탄소-함유 연료가 임의적으로 CH₄를 포함하는, 실시양태 7의 방법.
- [0415] 실시양태 9. 상기 방법이 탄소-함유 연료의 적어도 일부를 개질시켜 H₂를 생성하고, 생성된 H₂의 적어도 일부를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 8의 방법.
- [0416] 실시양태 10. 하나 이상의 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 탄소-함유 연료를 개질 스테이지에 통과시키지 않고서, 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시키는, 실시양태 8의 방법.
- [0417] 실시양태 11. 연소 배기 가스가 10부피% 이하의 CO₂(예를 들어, 8부피% 이하의 CO₂)를 포함하고, 연소 배기 가스가 임의적으로 약 4부피% 이상의 CO₂를 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0418] 실시양태 12. 상기 방법이 연소 배기 가스의 제 2 부분을 연소 대역으로 재순환시킴을 추가로 포함하고, 이때 연소 배기 가스의 제 2 부분이 임의적으로는 약 6부피% 이상의 CO₂를 포함하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0419] 실시양태 13. 연소 배기 가스의 제 2 부분을 연소 대역으로 재순환시키는 것이, 연소 배기 가스의 제 2 부분과 H₂O-함유 스트림 사이에서 열을 교환하여 증기를 형성하고; 연소 배기 가스의 제 2 부분으로부터 물을 분리하여 H₂O가 고갈된 연소 배기 가스 스트림을 형성하고; H₂O가 고갈된 연소 배기 가스의 적어도 일부를 연소 대역에 통과시킴을 포함하는, 실시양태 12의 방법.
- [0420] 실시양태 14. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO₂를 분리하기 전에 애노드 배기 가스 스트림이 약 5.0부피% 이상(예를 들어, 약 10부피% 이상, 또는 약 15부피% 이상)의 H₂를 포함하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0421] 실시양태 15. 상기 방법이 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO₂를 분리하기 전에 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시켜 전화된 애노드 배기 가스 스트림을 형성함을 추가로 포함하고, 이때 수성 가스 전화 촉매에 노출된 후 전화된 애노드 배기 가스 스트림의 H₂ 함량이 수성 가스 전화 촉매에 노출되기 전 애노드 배기 가스 스트림의 H₂ 함량보다 더 많은, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0422] 실시양태 16. CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 연소-재순환 부분을 연소 대역에 통과시키기 전에 CO₂가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 연소-재순환 부분을 연료 스트림과 합치는, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0423] 실시양태 17. 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO₂ 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 16중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0424] 실시양태 18. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO₂를 분리하는 것이, 애노드 배

기 가스 스트림으로부터 물을 임의적으로 분리하여 임의적으로 H_2O 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성하고; 임의적으로 H_2O 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 냉각시켜 CO_2 의 응축된 상을 형성함을 포함하는, 실시양태 1 내지 17중 어느 한 실시양태의 방법.

[0425] 실시양태의 이 군은 군 D이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.

[0426] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 연소 연료 스트림 및 O_2 -함유 스트림을 연소 대역으로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여, CO_2 를 포함하는 연소 배기 가스를 생성하고; 연소 배기 가스의 적어도 제 1 부분을 포함하는 캐소드 입구 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여, 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터의 캐소드 배기 가스 스트림을 형성하고; 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 H_2 와 반응시켜, 전기, 및 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터 CO_2 및 H_2 를 포함하는 애노드 배기 가스 스트림을 생성하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하여, CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 생성하고; CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 연소-재순환 부분을 연소 대역에 통과시킴을 포함하고, 이 때 상기 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 연료 전지 애노드 및 하나 이상의 연료 전지 캐소드를 포함하고, 상기 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 대역에 작동가능하게 연결되는 방법.

[0427] 실시양태 2. CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 애노드-재순환 부분을 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1의 방법.

[0428] 실시양태 3. 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시킴을 추가로 포함하고, 상기 탄소-함유 연료가 임의적으로 CH_4 를 포함하는, 실시양태 2의 방법.

[0429] 실시양태 4. 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시키는 것이, 탄소-함유 연료의 적어도 일부를 개질시켜 H_2 를 생성하고, 생성된 H_2 의 적어도 일부를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시킴을 포함하는, 실시양태 3의 방법.

[0430] 실시양태 5. 하나 이상의 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 탄소-함유 연료를 개질 스테이지에 통과시키지 않고서, 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시키는, 실시양태 3의 방법.

[0431] 실시양태 6. 연소 배기 가스가 약 10부피% 이하의 CO_2 (예를 들어, 8부피%의 CO_2)를 포함하고, 연소 배기 가스가 임의적으로 약 4부피% 이상의 CO_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.

[0432] 실시양태 7. 약 6부피% 이상의 CO_2 를 임의적으로 포함하는 연소 배기 가스의 제 2 부분을 연소 대역으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.

[0433] 실시양태 8. 연소 배기 가스의 제 2 부분을 연소 대역으로 재순환시키는 것이, 연소 배기 가스의 제 2 부분과 H_2O -함유 스트림 사이에서 열을 교환하여 증기를 생성하고, 연소 배기 가스의 제 2 부분으로부터 물을 분리하여 H_2O 가 고갈된 연소 배기 가스 스트림을 형성하며, H_2O 가 고갈된 연소 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 연소 대역에 통과시킴을 포함하는, 실시양태 7의 방법.

[0434] 실시양태 9. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하기 전에, 애노드 배기 가스 스트림이 약 5.0부피% 이상(예를 들어, 약 10부피% 이상, 또는 약 15부피% 이상)의 수소를 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.

[0435] 실시양태 10. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하기 전에, 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시켜 전화된 애노드 배기 가스 스트림을 형성함을 추가로 포함하고, 이 때 상기 전화된 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량이 수성 가스 전화 촉매에 노출되기 전의 애노드 배기

가스 스트림의 H_2 함량보다 더 큰, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0436] 실시양태 11. 하나 이상의 연료 전지 애노드의 연료 이용률이 약 45% 내지 약 65%(예를 들어, 약 60% 이하)인, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0437] 실시양태 12. CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 연소-재순환 부분을 연소 대역에 통과시키기 전에, CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 연소-재순환 부분을 연소 연료 스트림과 합치는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0438] 실시양태 13. 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO_2 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0439] 실시양태 14. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하는 것이, 애노드 배기 가스 스트림을 냉각시켜 CO_2 의 응축된 상을 형성함을 포함하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0440] 실시양태 15. 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하는 것이, CO_2 의 응축된 상을 형성시키기 전에 애노드 배기 가스 스트림으로부터 물을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 14의 방법.
- [0441] 실시양태 16. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 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 연료 전지 애노드 및 하나 이상의 연료 전지 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지 어레이; 및 애노드 배기 가스 스트림을 분리하여 애노드 재순환 루프 산출물을 형성시키기 위한 하나 이상의 이산화탄소 분리 스테이지를 포함하는 애노드 재순환 루프를 포함하는 발전용 시스템으로서, 이 때 상기 연소 대역이 하나 이상의 연소 연료 투입물을 추가로 받아들이고, 상기 연소 대역이 배기 가스 산출물을 갖는 팽창기와 유체 연통되며, 상기 용융 카보네이트 연료 전지 어레이가 하나 이상의 캐소드 투입물, 하나 이상의 캐소드 산출물, 하나 이상의 애노드 투입물, 및 하나 이상의 애노드 산출물을 갖고, 상기 팽창기 배기 가스 산출물의 제 2 부분이 하나 이상의 캐소드 투입물과 유체 연통되며, 상기 애노드 재순환 루프 산출물의 제 1 부분을 연소 연료 투입물로서 연소 대역에 제공하는 시스템.
- [0442] 실시양태 17. 애노드 재순환 루프 산출물의 제 2 부분을 하나 이상의 애노드 투입물에 제공하는, 실시양태 16의 시스템.
- [0443] 실시양태 18. 애노드 재순환 루프가 수성 가스 전화 반응 스테이지를 추가로 포함하고, 애노드 배기 가스 스트림을 하나 이상의 이산화탄소 분리 스테이지의 하나 이상의 스테이지 전에 수성 가스 전화 반응 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 16 또는 17의 시스템.
- [0444] 실시양태 19. 배기 가스 재순환 시스템이 열 회수 증기 발생 시스템을 추가로 포함하는, 실시양태 16 내지 18중 어느 한 실시양태의 시스템.
- [0445] 실시양태 20. 팽창기 배기 가스 산출물의 제 1 부분을 압축기에 통과시킴으로써 배기 가스 재순환 시스템이 팽창기 배기 가스 산출물의 제 1 부분과 연소 대역을 유체 연통시키는, 실시양태 16 내지 19중 어느 한 실시양태의 시스템.
- [0446] 실시양태의 이 군은 군 E이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0447] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 연소 공급원으로부터 이산화탄소를 포획하는 방법으로서, 연소 공급원으로부터 산출물 스트림을 포획하고; 포획된 산출물 스트림을 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지의 연료 전지 어레이로 처리하여 연료 전지 어레이의 하나 이상의 캐소드 출구로부터 캐소드 배기 가스 스트림을 형성하고; 하나 이상의 연료 전지 캐소드로부터의 카보네이트를 하나 이상의 연료 전지 애노드 내에서 H_2 와 반응시켜 전기 및 연료 전지 어레이의 하나 이상의 애노드 출구로부터의 애노드 배기 가스 스트림을 생성하고; 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 반응 스테이지에 임의적으로 통과시켜, 임의적으로 전화된 애노드 배기 가스 스트림을 형성하고; 하나 이상의 분리 스테이지에서 임의적으로 전화된 애노드 배

기 가스 스트림으로부터 이산화탄소를 분리하여 CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림을 형성하고; CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 하나 이상의 연료 전지 애노드로 재순환시킴을 포함하고, 이 때 상기 포획된 산출물 스트림이 산소 및 이산화탄소를 포함하고, 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 연료 전지 애노드 및 하나 이상의 연료 전지 캐소드를 포함하며, 하나 이상의 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 캐소드 입구를 통해 연소 공급원으로부터 포획된 산출물 스트림과 작동가능하게 연결되며, 애노드 배기 가스 스트림이 CO_2 및 H_2 를 포함하고, 카보네이트와 반응하는 H_2 의 적어도 일부가 CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부에서 재순환된 H_2 를 포함하는 방법.

- [0448] 실시양태 2. 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량이 약 10부피% 이상(예를 들어, 약 20부피% 이상)인, 실시양태 1의 방법.
- [0449] 실시양태 3. 하나 이상의 연료 전지 애노드의 연료 이용률이 약 60% 이하(예를 들어, 약 50% 이하)인, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0450] 실시양태 4. 하나 이상의 연료 전지 애노드의 연료 이용률이 약 30% 이상(예를 들어, 약 40% 이상)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0451] 실시양태 5. 캐소드 배기 가스가 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하)의 CO_2 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0452] 실시양태 6. 상기 방법이 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0453] 실시양태 7. 탄소-함유 연료를 어셈블리 내부의 하나 이상의 개질 스테이지에서 개질시키고, 어셈블리가 하나 이상의 개질 스테이지 및 연료 전지 어레이를 포함하는, 실시양태 6의 방법.
- [0454] 실시양태 8. CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부에서 재순환된 H_2 가 애노드 투입물 스트림의 약 5부피% 이상을 포함하는, 실시양태 6 또는 7의 방법.
- [0455] 실시양태 9. 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 들어가기 전에 개질 스테이지에 통과시키지 않으면서, 탄소-함유 연료를 하나 이상의 연료 전지 애노드에 통과시키는, 실시양태 8의 방법.
- [0456] 실시양태 10. 탄소-함유 연료가 메탄을 포함하는, 실시양태 6 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0457] 실시양태 11. 애노드 배기 가스 스트림의 일부를 직접적으로 또는 간접적으로 하나 이상의 캐소드로 재순환시키지 않으면서, CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 하나 이상의 애노드로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0458] 실시양태 12. 포획된 산출물 스트림이 약 4부피% 이상의 CO_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0459] 실시양태 13. 포획된 산출물 스트림이 약 8부피% 이하의 CO_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0460] 실시양태의 이 군은 군 F이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0461] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함을 포함하고, 이 때 상기 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의

양이 약 2.0 이상(예를 들어, 약 2.5 이상 또는 약 3.0 이상)의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는 방법.

- [0462] 실시양태 2. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함을 포함하고, 이 때 애노드 연료 스트림이 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 산화되어 전기를 발생시키는 H_2 의 양보다 50% 이상 더 많은 개질가능한 수소 함량을 갖는 방법.
- [0463] 실시양태 3. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 산화되어 전기를 발생시키는 H_2 의 양보다 약 75% 이상 더 많은(예를 들어, 약 100% 이상 더 많은), 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0464] 실시양태 4. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0465] 실시양태 5. 캐소드의 CO_2 이용률이 약 50% 이상인, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0466] 실시양태 6. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 , 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0467] 실시양태 7. 합성 가스-함유 스트림이 약 3.0:1 내지 약 1.0:1(예를 들어, 약 2.5:1 내지 약 1.0:1, 약 3.0:1 내지 약 1.5:1, 또는 약 2.5:1 내지 약 1.5:1)의 H_2 대 CO의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0468] 실시양태 8. 상기 애노드 배기 가스가 약 1.5:1 내지 약 10:1(예를 들어, 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 대 CO의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0469] 실시양태 9. a) 애노드 배기 가스의 10% 미만, b) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 1회 통과로 생성되는 H_2 의 10부피% 미만, 또는 c) 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0470] 실시양태 10. 애노드 배기 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0471] 실시양태 11. 상기 방법이 i) 애노드 배기 가스, ii) 수소-함유 스트림 및 iii) 합성 가스-함유 스트림중 하나 또는 그들의 조합으로부터 CO_2 및 H_2O 중 하나 이상을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0472] 실시양태 12. 수소-함유 스트림이 약 90부피% 이상의 H_2 (예를 들어, 약 95부피%의 H_2 또는 약 98부피%의 H_2)를 함유하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0473] 실시양태 13. 캐소드 입구 스트림이 약 20부피% 이하의 CO_2 (예를 들어, 약 15부피% 이하의 CO_2 또는 약 12부피% 이하의 CO_2)를 포함하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0474] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.67V 이하(예를 들어, 약 0.65V 이하)의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0475] 실시양태의 이 군은 군 G이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0476] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 갖는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함을 포함하고, 이 때 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상인 방법.
- [0477] 실시양태 2. 합성 가스-함유 스트림이 약 3.0:1 내지 약 1.0:1(예컨대, 약 2.5:1 내지 약 1.0:1, 약 3.0:1 내지 약 1.5:1, 또는 약 2.5:1 내지 약 1.5:1)의 H_2 대 CO 의 몰비를 갖는, 실시양태 1의 방법.
- [0478] 실시양태 3. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 35% 이하(예를 들어, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)인, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0479] 실시양태 4. 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 65% 이상(예를 들어, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0480] 실시양태 5. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0481] 실시양태 6. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 산화되어 전기를 발생시키는 H_2 의 양보다 약 75% 이상 더 많은(예를 들어, 약 100% 이상 더 많은), 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0482] 실시양태 7. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 , 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0483] 실시양태 8. a) 애노드 배기 가스의 10부피% 미만, b) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 1회 통과로 생성되는 H_2 의 10부피% 미만, 또는 c) 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0484] 실시양태 9. 애노드 배기 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0485] 실시양태 10. 상기 방법이 i) 애노드 배기 가스, ii) 수소-함유 스트림 및 iii) 합성 가스-함유 스트림중 하나 또는 그들의 조합으로부터 CO_2 및 H_2O 중 하나 이상을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0486] 실시양태 11. 캐소드 입구 스트림이 약 20부피% 이하의 CO_2 (예를 들어, 약 15부피% 이하의 CO_2 , 또는 약 12부피% 이하의 CO_2 또는 약 10부피% 이하의 CO_2)를 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0487] 실시양태 12. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.67V 이하(예를 들어, 약 0.65V 이하)의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0488] 실시양태 13. 애노드 배기 가스가 약 1.5:1 내지 약 10:1(예를 들어, 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 대 CO 의 몰

비를 갖는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0489] 실시양태의 이 군은 군 H이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0490] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 애노드 입구 내로 도입하고; CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시켜 약 1.3 이하(예를 들어, 약 1.15 이하 또는 약 1.0 이하)의 열 비로 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 수소-함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함을 포함하는, 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법.
- [0491] 실시양태 2. 캐소드의 CO₂ 이용률이 약 50% 이상인, 실시양태 1의 방법.
- [0492] 실시양태 3. 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지를 추가로 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0493] 실시양태 4. 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지의 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지가 통합된 개질 스테이지를 포함하고, 애노드 입구로 도입되는 애노드 연료 스트림을 애노드 입구에 들어가기 전에 통합된 개질 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 3의 방법.
- [0494] 실시양태 5. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.67V 이하(예를 들어, 약 0.65V 이하)의 전압 V_A에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0495] 실시양태 6. 상기 방법이 (i) 애노드 배기 가스, (ii) 수소-함유 스트림, 및 (iii) 합성 가스-함유 스트림중 하나 또는 이들의 조합으로부터 CO₂ 및 H₂O중 하나 이상을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0496] 실시양태 7. 열 비가 약 0.85 이하이고, 상기 방법이 용융 카보네이트 연료 전지에 열을 공급하여 애노드 입구에서의 온도보다 약 5°C 내지 약 50°C만큼 더 낮은 애노드 출구에서의 온도를 유지함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0497] 실시양태 8. 열 비가 약 0.25 이상인, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0498] 실시양태 9. 애노드 출구에서의 온도가 약 40°C 이하만큼 애노드 입구에서의 온도보다 더 높은, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0499] 실시양태 10. 애노드 입구에서의 온도가 약 20°C 이하만큼 애노드 출구에서의 온도와 상이한, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0500] 실시양태 11. 애노드 출구에서의 온도가 약 10°C 내지 약 80°C만큼 애노드 입구에서의 온도보다 낮은, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0501] 실시양태 12. a) 애노드 배기 가스의 10% 미만, b) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 1회 통과로 생성되는 H₂의 10부피% 미만, 또는 c) 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0502] 실시양태 13. 애노드 배기 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0503] 실시양태 14. 합성 가스-함유 스트림이 약 3.0:1 내지 약 1.0:1(예를 들어, 약 2.5:1 내지 약 1.0:1, 약 3.0:1 내지 약 1.5:1, 또는 약 2.5:1 내지 약 1.5:1)의 H₂ 대 CO의 몰비를 갖는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0504] 실시양태 15. 애노드 배기 가스가 약 1.5:1 내지 약 10:1(예를 들어, 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 대 CO 의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0505] 실시양태의 이 군은 군 J이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0506] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기를 생성하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성함을 포함하고, 이 때 상기 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 애노드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상인 방법.
- [0507] 실시양태 2. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기를 생성하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성함을 포함하고, 이 때 상기 캐소드 입구 스트림중 CO_2 농도가 약 6부피% 이하이고, 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 애노드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 1.5 이상인 방법.
- [0508] 실시양태 3. 캐소드 입구 스트림중 CO_2 농도가 약 5부피% 이하인, 실시양태 2의 방법.
- [0509] 실시양태 4. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 3.0 이상(예를 들어, 약 4.0 이상)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0510] 실시양태 5. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0511] 실시양태 6. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 합성 가스-함유 스트림을 분리하기 전에 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림을 분리함을 추가로 포함하고, 이 때 상기 H_2 -함유 스트림이 약 90부피% 이상의 H_2 (예를 들어, 약 95부피% 이상의 H_2 , 또는 약 98부피% 이상의 H_2)를 함유하는, 실시양태 5의 방법.
- [0512] 실시양태 7. 합성 가스-함유 스트림이 약 3.0:1(예를 들어, 약 2.5:1 이하) 내지 약 1.0:1(예컨대, 적어도 약 1.5:1)의 H_2 대 CO 의 물비를 갖는, 실시양태 5 또는 6의 방법.
- [0513] 실시양태 8. 상기 방법이 (i) 애노드 배기 가스, ii) H_2 -함유 스트림, 및 iii) 합성 가스-함유 스트림중 하나 또는 이들의 조합으로부터 CO_2 및 H_2O 중 하나 이상을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 5 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0514] 실시양태 9. 상기 방법이 합성 가스-함유 스트림으로부터 약 90부피% 이상의 H_2 를 함유하는 스트림을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 5 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0515] 실시양태 10. 애노드 배기 가스가 약 1.5:1(예를 들어, 적어도 약 3.0:1) 내지 약 10:1의 H_2 대 CO 의 비를 갖는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0516] 실시양태 11. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 , 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0517] 실시양태 12. a) 애노드 배기 가스의 10부피% 미만, b) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 1회 통과로 생

성되는 H_2 의 10부피% 미만, 또는 c) 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0518] 실시양태 13. 애노드 배기 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0519] 실시양태 14. 캐소드 입구 스트림이 연소로부터 전력을 얻는 제너레이터로부터의 연소 배기 가스 스트림을 포함하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0520] 실시양태 15. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.67볼트 이하의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0521] 실시양태의 이 군은 군 K이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0522] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기, 및 수소 또는 합성 가스를 생산하는 방법으로서, 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_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림 또는 이들의 조합을 분리함을 포함하고, 이 때 상기 애노드의 연료 이용률이 약 50% 이하이고, 캐소드의 CO_2 이용률이 약 60% 이상인 방법.
- [0523] 실시양태 2. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 산화되어 전기를 생성하는 H_2 의 양보다 약 75% 이상 더 많은, 실시양태 1의 방법.
- [0524] 실시양태 3. 캐소드 입구 스트림이 약 20부피% 이하의 CO_2 (예를 들어, 약 15부피% 이하의 CO_2 또는 약 12부피% 이하의 CO_2)를 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0525] 실시양태 4. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률이 약 40% 이하(예컨대, 약 30% 이하)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0526] 실시양태 5. 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드의 CO_2 이용률이 약 65% 이상(예를 들어, 약 70% 이상)인, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0527] 실시양태 6. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 , 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0528] 실시양태 7. 합성 가스-함유 스트림이 약 3.0:1(예를 들어, 약 2.5:1 이하) 내지 약 1.0:1(예컨대, 적어도 약 1.5:1)의 H_2 대 CO의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0529] 실시양태 8. 애노드 배기 가스가 약 1.5:1 내지 약 10:1(예를 들어, 적어도 약 3.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 대 CO의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0530] 실시양태 9. a) 애노드 배기 가스의 10% 미만, b) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 1회 통과로 생성되는 H_2 의 10부피% 미만, 또는 c) 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0531] 실시양태 10. 애노드 배기 가스를 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 용융

카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.

[0532] 실시양태 11. (i) 애노드 배기 가스, ii) H_2 -함유 스트림, 및 iii) 합성 가스-함유 스트림중 하나 또는 이들의 조합으로부터 CO_2 및 H_2O 중 하나 이상을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.

[0533] 실시양태 12. H_2 -함유 스트림이 약 90부피% 이상(예를 들어, 약 95부피% 이상, 또는 약 98부피% 이상)의 H_2 를 함유하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.

[0534] 실시양태 13. 캐소드 입구 스트림이 연소로부터 전력을 얻는 제너레이터로부터의 연소 배기 가스 스트림을 포함하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.

[0535] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.67볼트 이하(예컨대, 약 0.65V 이하)의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.

[0536] 실시양태의 이 군은 군 L이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.

[0537] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 애노드 입구 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지를 제 1 작동 조건에서 작동시켜, 전력 및 $30mW/cm^2$ 이상의 폐열을 생성하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $100^\circ C$ 이하로 유지하는데 효과적인 양의 흡열 반응을 수행함을 포함하고, 이 때 상기 제 1 작동 조건이 약 $150mA/cm^2$ 이상의 전류 밀도를 제공하는 방법.

[0538] 실시양태 2. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 애노드 입구 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지를 제 1 작동 조건에서 작동시켜, 전기를 생성하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $80^\circ C$ 이하로 유지하는데 효과적인 양의 흡열 반응을 수행함을 포함하고, 이 때 상기 제 1 작동 조건이 약 $150mA/cm^2$ 이상의 전류 밀도를 제공하고, 상기 제 1 작동 조건이 상응하는 기준선 작동 조건을 가지며, 기준선 작동 조건에서 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시켜, 애노드 입구와 애노드 출구 사이에서 약 $100^\circ C$ 이상의 온도 증가를 야기하고, 용융 카보네이트 연료 전지의 기준선 작동 조건이 약 75%의 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 연료 이용률을 포함하고 기준선 작동 조건에서 애노드 연료 스트림이 약 80부피% 이상의 메탄을 포함하는 것을 제외하고는 제 1 작동 조건과 동일한 작동 조건으로서 정의되는 방법.

[0539] 실시양태 3. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 애노드 입구 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지를 제 1 작동 조건에서 작동시켜, 제 1 전력 밀도의 전력 및 폐열을 생성하고; 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 출구로부터 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $80^\circ C$ 이하로 유지하는데 효과적인 양의 흡열 반응을 수행함을 포함하고, 이 때 상기 제 1 작동 조건이 제 1 애노드 입구 온도, 제 1 애노드 입구 유속, 제 1 애노드 연료 분압, 제 1 애노드 물 분압, 제 1 캐소드 입구 유속, 제 1 캐소드 입구 CO_2 분압 및 제 1 캐소드 입구 O_2 분압을 포함하고, 제 1 작동 조건이 상응하는 최대 전력 작동 조건을 갖고, 최대 전력 작동 조건에서 연료 전지 어셈블리를 작동시켜 제 1 전력 밀도와는 약 20% 미만만큼 상이한 전력 밀도를 생성하고, 최대 전력 작동 조건이 제 1 애노드 입구 온도, 제 1 애노드 입구 유속, 제 1 애노드 연료 분압, 제 1 애노드 물 분압, 제 1 캐소드 입구 유속, 제 1 캐소드 입구 CO_2 분압 및 제 1 캐소드 입구 O_2 분압을 포함하는 작동 조건에 대해 최대 전력 밀도를 생성하는 작동

조건에 상응하는 방법.

- [0540] 실시양태 4. 최대 전력 작동 조건에서의 전력 밀도가 약 15% 미만만큼 제 1 전력 밀도와 상이한, 실시양태 3의 방법.
- [0541] 실시양태 5. 상기 방법이 효과량의 흡열 반응을 수행함으로써 생성되는 하나 이상의 반응 생성물을 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지로부터의 생성물 스트림을 회수함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0542] 실시양태 6. 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드를 통해 통과시키지 않고 생성물 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지로부터 회수하는, 실시양태 5의 방법.
- [0543] 실시양태 7. 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지를 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0544] 실시양태 8. 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지의 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지가 통합된 개질 스테이지를 포함하고, 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드의 애노드 입구 내로 도입하기 전에 통합된 개질 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 7의 방법.
- [0545] 실시양태 9. 효과량의 흡열 반응을 수행하는 것이 개질가능한 연료를 개질시킴을 포함하는, 실시양태 7 또는 8의 방법.
- [0546] 실시양태 10. 효과량의 흡열 반응을 수행하는 것이, 용융 카보네이트 연료 전지를 제 1 작동 조건에서 작동시킴으로써 발생하는 폐열의 약 40% 이상을 소비하는 흡열 반응을 수행함을 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0547] 실시양태 11. 애노드 출구에서의 온도가 애노드 입구에서의 온도보다 약 50℃ 미만만큼 더 높은, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0548] 실시양태 12. 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시켜 약 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상(예를 들어, 약 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 또는 약 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상)의 폐열을 생성하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0549] 실시양태 13. 제 1 작동 조건이 약 $200\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상의 전류 밀도를 제공하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0550] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.7볼트 미만(예를 들어, 약 0.67볼트 이하, 또는 약 0.65볼트 이하)의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0551] 실시양태 15. 애노드 배기 가스를 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로, 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로, 또는 이들의 조합으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0552] 실시양태 16. 애노드 배기 가스의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0553] 실시양태 17. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림 또는 이들의 조합을 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 16중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0554] 실시양태 18. 1회 통과시 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서 생성된 H_2 의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 17의 방법.
- [0555] 실시양태 19. 합성 가스-함유 스트림의 10부피% 미만을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 또는 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 17의 방법.
- [0556] 실시양태의 이 군은 군 M이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.

- [0557] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 애노드 및 캐소드를 포함하는 용융 카보네이트 연료 전지를 사용하여 전기를 생성하는 방법으로서, 연소 연료 스트림 및 O_2 -함유 스트림을 연소 대역 내로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 생성하고; 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; 연소 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; a) 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를, b) H_2 및 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를, 또한 c) 캐소드 입구 스트림의 NO_x 함량의 약 절반 미만을 포함하는 캐소드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 분리하여, 애노드 배기 가스보다 더 높은 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 풍부한 애노드 배기 가스 스트림 및 애노드 배기 가스보다 더 낮은 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스를 형성함을 포함하고, 이때 상기 연소 배기 가스가 약 20vppm 이상의 NO_x 를 포함하고, 캐소드 입구 스트림이 CO_2 , O_2 , 및 약 20vppm 이상의 질소 산화물을 포함하는, 방법.
- [0558] 실시양태 2. 캐소드 배기 가스가 약 15vppm 이하의 NO_x 를 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0559] 실시양태 3. 캐소드 입구 스트림이 약 500vppm 이하의 NO_x 를 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0560] 실시양태 4. 연소 배기 가스가 약 10부피% 이하(예를 들어, 약 8부피% 이하)의 CO_2 를 포함하는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0561] 실시양태 5. 연소 대역을 약 1200°F 이상의 온도에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0562] 실시양태 6. 상기 방법이 CO_2 가 고갈된 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 연소 대역으로, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드로, 또는 이들의 조합으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0563] 실시양태 7. 상기 방법이 애노드 배기 가스 스트림으로부터 CO_2 를 분리하기 전에 애노드 배기 가스 스트림을 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하고, 이 때 전화된 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량이 노출 전의 애노드 배기 가스 스트림의 H_2 함량 미만인, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0564] 실시양태 8. 상기 방법이 연소 배기 가스로부터의 연소 배기 가스 재순환 부분을 연소 대역으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0565] 실시양태 9. 상기 캐소드 배기 가스 스트림이 약 2.0부피% 이하(예를 들어, 약 1.5부피% 이하, 또는 약 1.2부피% 이하)의 CO_2 함량을 갖는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0566] 실시양태 10. 애노드 연료 스트림이 약 10부피% 이상의 불활성 화합물, 약 10부피% 이상의 CO_2 및 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0567] 실시양태 11. 애노드 배기 가스 스트림이 약 3.0:1 내지 약 10.0:1의 몰비로 H_2 및 CO 를 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0568] 실시양태 12. 연소 대역으로의 연소 연료 스트림이 탄화수소를 함유하고, 캐소드 입구 스트림중 CO_2 대 캐소드 입구 스트림중 NO_x 의 비가 약 100 내지 약 10,000인, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0569] 실시양태 13. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 하나 이상의 연료 스트림 및 O_2 -함유 스트림을 반응 대역 내로 도입하고; 연소 대역에서 연소 반응을 수행하여 연소 배기 가스를 생성하고; 개질가능한 연료를 포함하는 애노드 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; 연소 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생성하고; 캐소드 입구 스트림의 질소 산화물 함량의 절반 미만인 질소 산화물 함량을 갖는 애노드 배기 가스를 생성함을 포함하는, 전기를 생성하는 방법으로서, 상기 연소 배기 가스가 약 20vppm 이상의 NO_x 를 포함하고, 캐소드 입구 스트림이 질

소 산화물 약 20vppm 내지 약 500vppm의 질소 산화물 함량을 포함하는 방법.

- [0570] 실시양태 14. 연소 대역으로의 연료 스트림이 탄화수소를 함유하고, 캐소드 입구 스트림중 CO_2 대 캐소드 입구 스트림중 NO_x 의 비가 약 100 내지 약 10,000인, 실시양태 13의 방법.
- [0571] 실시양태의 이 군은 군 N이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0572] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 전기를 생성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H_2 , CO 및 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 약 80부피% 이상(예를 들어, 약 90부피% 이상)의 H_2 를 포함하는 H_2 가 풍부한 제 1 기체 스트림을 분리하고; H_2 가 풍부한 제 1 기체 스트림의 적어도 일부를 연소시켜 전기를 생성함을 포함하고, 이때 상기 용융 카보네이트 연료 전지를 약 60% 이하의 연료 이용률에서 작동시키는 방법.
- [0573] 실시양태 2. 상기 방법이 (i) 애노드 배기 가스, 애노드 배기 가스의 적어도 일부, 또는 이들의 조합에 대해 수성 가스 전화 공정을 수행하거나; (ii) 애노드 배기 가스, 애노드 배기 가스의 적어도 일부 또는 이들의 조합으로부터 CO_2 및/또는 H_2O 를 분리하거나; 또는 (iii) (i) 및 (ii)를 모두 수행함을 추가로 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0574] 실시양태 3. 분리 단계가, 애노드 배기 가스 또는 애노드 배기 가스의 적어도 일부 상에서 수성 가스 전화 공정을 수행하여 전화된 애노드 배기 가스 부분을 형성하고; 전화된 애노드 배기 가스 부분으로부터 H_2O 및 CO_2 를 분리하여 H_2 가 풍부한 제 1 기체 스트림을 형성함을 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0575] 실시양태 4. 연소 단계가 연소에 의해 발생되는 열로부터 증기를 생성하고, 생성된 증기의 적어도 일부로부터 전기를 생성함을 포함하는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0576] 실시양태 5. 연소 단계가, H_2 가 풍부한 제 1 기체 스트림의 적어도 일부를 터빈에서 연소시킴을 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0577] 실시양태 6. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈에서 탄소-함유 연료의 연소로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0578] 실시양태 7. 탄소-함유 연료가 5부피% 이상의 불활성 기체, 약 10부피% 이상의 CO_2 및 약 10부피% 이상의 N_2 중 하나 이상을 포함하는, 실시양태 6의 방법.
- [0579] 실시양태 8. 애노드 배기 가스가 적어도 약 2.5:1(예를 들어, 적어도 약 3.0:1, 적어도 약 4.0:1, 또는 적어도 약 5.0:1)의 H_2 :CO 비를 갖는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0580] 실시양태 9. 상기 방법이 애노드 배기 가스, 애노드 배기 가스의 적어도 일부, H_2 가 풍부한 제 1 기체 스트림 또는 이들의 조합으로부터 H_2 -함유 제 2 스트림을 형성하고, H_2 -함유 제 2 스트림의 적어도 일부를 연소 터빈으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0581] 실시양태 10. 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0582] 실시양태 11. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 약 0.25 내지 약 0.8, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0583] 실시양태 12. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 반응하여 전기를 생성하는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0584] 실시양태 13. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 몰수의 비가 적어도 약 2.0:1(예를 들어, 적어도 약 3.0, 적어도 약 4.0, 적어도 약 5.0, 적어도 약 10.0, 또는 적어도 약 20.0), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0585] 실시양태 14. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO₂ 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0586] 실시양태 15. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 150mA/cm² 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 40mW/cm² 이상(예를 들어, 약 50mW/cm² 이상, 약 60mW/cm² 이상, 약 80mW/cm² 이상, 또는 약 100mW/cm² 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 약 100℃ 이하(예를 들어, 약 80℃ 이하 또는 약 60℃ 이하)의 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하고, 임의적으로는 흡열성 반응을 수행하여 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0587] 실시양태 16. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0588] 실시양태의 이 군은 군 P이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0589] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H₂, CO, H₂O 및 약 20부피% 이상의 CO₂를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 전화 피셔-트롭쉬 촉매(예컨대, Fe 포함)의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건하에서 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 반응시켜, 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성하고; 하나 이상의 기체 생성물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 포함하고, 이때 상기 애노드 배기 가스의 적어도 일부중 CO₂ 농도가 애노드 배기 가스중 CO₂ 농도의 80% 이상인 방법.
- [0590] 실시양태 2. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H₂, CO, H₂O 및 약 20부피% 이상의 CO₂를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 전화 피셔-트롭쉬 촉매(예컨대, Fe 포함)의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건하에서 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 반응시켜, 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성함을 포함하는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법으로서, 상기 애노드 배기 가스의 적어도 일부중 CO₂ 농도가 애노드 배기 가스중 CO₂ 농도의 80% 이상이고, 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는 방법.
- [0591] 실시양태 3. 상기 방법이 기체 생성물의 적어도 일부를 애노드 입구, 캐소드 입구 또는 이들의 조합으로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 2의 방법.
- [0592] 실시양태 4. 애노드 배기 가스의 H₂:CO 비가 약 적어도 2.5:1(예를 들어, 적어도 약 3.0:1, 적어도 약 4.0:1, 또는 적어도 약 5.0:1)인, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0593] 실시양태 5. 재순환시키는 단계가, 하나 이상의 기체 생성물로부터 CO₂를 제거하여 CO₂-함유 스트림 및 CO₂, CO 및 H₂를 포함하는 분리된 합성 가스 배출물을 생성시켜, CO₂-함유 스트림이 하나 이상의 기체 생성물의 CO₂ 함량보다 더 큰 CO₂ 함량을 갖도록 하고, 임의적으로는 분리된 합성 가스 배출물의 적어도 일부를 산화시키고, 임의적으로 산화된 분리된 합성 가스 배출물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 포함하는, 실시양태 1, 3 및 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0594] 실시양태 6. 상기 방법이 효과적인 피셔-트롭쉬 조건하에서 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 반응시키기 전에 애노드 배기 가스, 애노드 배기 가스의 적어도 일부 또는 이들의 조합을 압축시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0595] 실시양태 7. 상기 방법이 애노드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 수성 가스 전화 촉매에 노출시켜 전화된 애노드 배기 가스를 형성하고, 전화된 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 물 및 CO₂를 제거함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0596] 실시양태 8. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0597] 실시양태 9. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 용융 카보네이트 연료 전지에서 반응하여 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0598] 실시양태 10. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 몰수의 비가 적어도 약 2.0:1(예를 들어, 적어도 약 3.0, 적어도 약 4.0, 적어도 약 5.0, 적어도 약 10.0, 또는 적어도 약 20.0), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0599] 실시양태 11. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO₂ 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0600] 실시양태 12. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 150mA/cm² 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 40mW/cm² 이상(예를 들어, 약 50mW/cm² 이상, 약 60mW/cm² 이상, 약 80mW/cm² 이상, 또는 약 100mW/cm² 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 약 100℃ 이하(예를 들어, 약 80℃ 이하 또는 약 60℃ 이하)의 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하고, 임의적으로는 흡열성 반응을 수행하여 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0601] 실시양태 13. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0602] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 약 0.25 내지 약 0.8, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0603] 실시양태 15. 하나 이상의 기체 생성물이 (i) 미반응 H₂, (ii) 미반응 CO, 및 (iii) C4-탄화수소계 화합물 및/또는 C4-산소화물 화합물중 하나 이상을 포함하는 테일 가스 스트림을 포함하는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0604] 실시양태의 이 군은 군 Q이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0605] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을

용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H₂, CO, CO₂ 및 H₂O를 포함하고 적어도 약 2.5:1(예컨대, 적어도 약 3.0:1, 적어도 약 4.0:1, 또는 적어도 약 5.0:1)의 H₂ 대 CO 비를 갖는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부에서 H₂ 대 CO의 비를 약 1.7:1 내지 약 2.3:1의 비로 감소시켜, 애노드 배기 가스중 CO₂ 농도의 60% 이상인 CO₂ 농도를 또한 갖는 전통적인 합성 가스 스트림을 생성하고; 비-전환 피셔-트롭쉬 촉매 (예컨대, Co, Rh, Ru, Ni, Zr 또는 이들의 조합 포함)의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건에서 전통적인 합성 가스 스트림을 반응시켜, 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성하고; 하나 이상의 기체 생성물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 포함하는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법.

[0606]

실시양태 2. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO₂ 및 O₂를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 입구 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H₂, CO, CO₂ 및 H₂O를 포함하고 적어도 약 2.5:1(예컨대, 적어도 약 3.0:1, 적어도 약 4.0:1, 또는 적어도 약 5.0:1)의 H₂ 대 CO 비를 갖는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부에서 H₂ 대 CO의 비를 약 1.7:1 내지 약 2.3:1의 비로 감소시켜, 애노드 배기 가스중 CO₂ 농도의 60% 이상인 CO₂ 농도를 또한 갖는 전통적인 합성 가스 스트림을 생성하고; 비-전환 피셔-트롭쉬 촉매 (예컨대, Co, Rh, Ru, Ni, Zr 또는 이들의 조합 포함)의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건에서 전통적인 합성 가스 스트림을 반응시켜, 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성함을 포함하는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법으로서, 상기 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는 방법.

[0607]

실시양태 3. 상기 방법이 하나 이상의 기체 생성물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 2의 방법.

[0608]

실시양태 4. 전통적인 합성 가스 스트림중 H₂ 대 CO의 비를 감소시키는 것이, (i) 전통적인 합성 가스 스트림 상에서 역 수성 가스 전화를 수행하거나, (ii) 애노드 배기 가스로부터, 전통적인 합성 가스 스트림으로부터, 또는 이들의 조합으로부터 H₂를 포함하는 기체 스트림을 회수하거나, 또는 (iii) (i) 및 (ii)를 둘 다 수행함을 포함하는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.

[0609]

실시양태 5. 재순환시키는 단계가, 하나 이상의 기체 생성물로부터 CO₂를 제거하여 CO₂-함유 스트림 및 CO₂, CO 및 H₂를 포함하는 분리된 합성 가스 배출물을 생성하고, 임의적으로는 분리된 합성 가스 배출물의 적어도 일부를 산화시키고, 임의적으로 산화된 분리된 합성 가스 배출물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 포함하는, 실시양태 1, 3 및 4중 어느 한 실시양태의 방법.

[0610]

실시양태 6. 상기 방법이 효과적인 피셔-트롭쉬 조건하에서 전통적인 합성 가스 스트림을 반응시키기 전에 애노드 배기 가스, 전통적인 합성 가스 스트림 또는 이들의 조합을 압축시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.

[0611]

실시양태 7. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.

[0612]

실시양태 8. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 용융 카보네이트 연료 전지에서 반응하여 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.

[0613]

실시양태 9. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO₂의 몰수의 비가 약 2.0 이상 (예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.

[0614]

실시양태 10. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)

이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.

[0615] 실시양태 11. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상(예를 들어, 약 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 약 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 약 $80\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 또는 약 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 약 100°C 이하(예를 들어, 약 80°C 이하 또는 약 60°C 이하)의 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.

[0616] 실시양태 12. 흡열 반응을 수행하는 것이, 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 11의 방법.

[0617] 실시양태 13. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.

[0618] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 약 0.25 내지 약 0.8, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.

[0619] 실시양태 15. 하나 이상의 기체 생성물이 (i) 미반응 H_2 , (ii) 미반응 CO , 및 (iii) C4-탄화수소계 화합물 및/또는 C4-산소화물 화합물중 하나 이상을 포함하는 테일 가스 스트림을 포함하는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.

[0620] 실시양태의 이 군은 군 R이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.

[0621] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H_2 , CO 및 CO_2 를 포함하고 적어도 약 2.5:1의 H_2 대 CO 비를 가지며 약 20부피% 이상의 CO_2 함량을 갖는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 물 및 CO_2 를 제거하여 애노드 배출 가스 스트림을 생성하고; 비-전화 피서-트롭쉬 촉매(예컨대, Co , Rh , Ru , Ni , Zr 또는 이들의 조합 포함) 상에서 애노드 배출 가스 스트림의 적어도 일부를 반응시켜, 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성하고; 임의적으로는 기체 생성물의 적어도 일부를 애노드 입구, 캐소드 입구 또는 이들의 조합으로 재순환시킴을 포함하고, 이때 상기 애노드 배출 가스 스트림이 애노드 배기 가스중 물의 농도의 절반 미만인 물 농도를 갖거나, 애노드 배기 가스중 CO_2 의 농도의 절반 미만인 CO_2 농도를 갖거나, 이들의 조합을 갖고, 애노드 배출 가스 스트림이 또한 약 2.3:1 이하의 H_2 대 CO 비를 갖는, 방법.

[0622] 실시양태 2. 재순환 단계가 기체 생성물로부터 CO_2 를 제거하여 CO_2 가 농축된 스트림 및 CO_2 , CO 및 H_2 를 포함하는 분리된 합성 가스 생성물을 생성하고, 임의적으로는 분리된 합성 가스 생성물의 적어도 일부를 산화시키고; 분리된 합성 가스 생성물의 적어도 일부를 애노드 입구, 캐소드 입구 또는 이들의 조합으로 재순환시킴을 포함하는, 실시양태 1의 방법.

[0623] 실시양태 3. 기체 생성물이 (i) 미반응 H_2 , (ii) 미반응 CO , 및 (iii) C4-탄화수소계 화합물 또는 C4-산소화물 화합물중 하나 이상을 포함하는 테일 가스 스트림을 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.

[0624] 실시양태 4. 상기 방법이 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 수성 가스 전화 촉매에 노출시켜 전화된 애노드 배기 가스(이는 임의적으로 애노드 배기 가스의 H_2 대 CO 의 몰비 미만인 H_2 대 CO 의 몰비를 가질 수 있음)를 형성하고, 전화된 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 물 및 CO_2 를 제거하여 정제된 H_2 스트림을 형성함을 추가로

포함하는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0625] 실시양태 5. 상기 방법이 애노드 배출 가스 스트림의 적어도 일부를 수성 가스 전화 촉매에 노출시켜 전화된 애노드 배출물(이는 임의적으로는 애노드 배출 가스 스트림의 H_2 대 DO 의 몰비 미만인 H_2 대 CO 의 몰비를 가질 수 있음)을 형성함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0626] 실시양태 6. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0627] 실시양태 7. 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1(예를 들어, 적어도 약 4.0:1, 약 3.0:1 내지 약 10:1, 또는 약 4.0:1 내지 약 10:1)의 H_2 : CO 의 비를 갖는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0628] 실시양태 8. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 용융 카보네이트 연료 전지에서 반응하여 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 큰, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0629] 실시양태 9. 연료 전지 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0630] 실시양태 10. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0631] 실시양태 11. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 $150mA/cm^2$ 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 $40mW/cm^2$ 이상(예를 들어, 약 $50mW/cm^2$ 이상, 약 $60mW/cm^2$ 이상, 약 $80mW/cm^2$ 이상, 또는 약 $100mW/cm^2$ 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 약 $100^\circ C$ 이하(예를 들어, 약 $80^\circ C$ 이하 또는 약 $60^\circ C$ 이하)의 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0632] 실시양태 12. 흡열 반응을 수행하는 것이, 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 11의 방법.
- [0633] 실시양태 13. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0634] 실시양태 14. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 약 0.25 내지 약 0.8, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0635] 실시양태 15. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상(예를 들어, 약 2.0 이상, 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상)의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0636] 실시양태의 이 군은 군 S이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0637] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 탄화수소계 화합물을 합성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H_2 , CO 및 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 CO_2 를 제거하여 애노드 배출 가스 스트림을 생

성하고; 메탄올을 형성하기에 효과적인 조건 하에서 메탄올 합성 촉매의 존재하에 애노드 배출 가스 스트림중 적어도 일부를 반응시켜, 하나 이상의 메탄올-함유 스트림 및 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림을 생성하고; 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림의 적어도 일부를 재순환시켜, 캐소드 입구 스트림의 적어도 일부를 형성함을 포함하고, 이때 상기 캐소드 입구 스트림이 임의적으로 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 방법.

[0638] 실시양태 2. 상기 방법이 (예를 들어, 애노드 배기 가스, 애노드 배출 가스 스트림 또는 이들의 조합으로부터 CO_2 를 제거함으로써, 역 수성 가스 전화 반응을 수행함으로써, 또는 이들의 조합에 의해) 애노드 배기 가스, 애노드 배출 가스 스트림 또는 이들의 조합의 조성을 조정하여, 약 1.7 내지 약 2.3(예를 들어, 약 1.8 내지 약 2.3, 약 1.9 내지 약 2.3, 약 1.7 내지 약 2.2, 약 1.8 내지 약 2.2, 약 1.9 내지 약 2.2, 약 1.7 내지 약 2.1, 약 1.8 내지 약 2.1, 또는 약 1.9 내지 약 2.1)의 애노드 배출 가스 스트림의 모듈 값 M 을 획득함을 추가로 포함하고, 이 때 상기 M 이 $M = [\text{H}_2 - \text{CO}_2] / [\text{CO} + \text{CO}_2]$ 로서 정의되는, 실시양태 1의 방법.

[0639] 실시양태 3. 조정 단계가, 애노드 배기 가스 또는 애노드 배출 가스 스트림을 분할하여 분할된 제 1 스트림 및 분할된 제 2 스트림을 형성하고; 분할된 제 1 스트림 상에서 역 수성 가스 전화를 수행하여 전화된 제 1 스트림을 형성하고; 전화된 제 1 스트림의 적어도 일부를 분할된 제 2 스트림의 적어도 일부와 합쳐서 조정된 애노드 배기 가스 또는 조정된 애노드 배출 가스 스트림을 형성함을 포함하는, 실시양태 2의 방법.

[0640] 실시양태 4. 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1(예를 들어, 적어도 약 4.0:1 또는 적어도 약 5.0:1) 및 임의적으로는 약 10:1 이하의 $\text{H}_2:\text{CO}$ 의 몰비를 갖는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.

[0641] 실시양태 5. 상기 방법이, 메탄올 합성 촉매의 존재하에 반응시키기 전에 애노드 배출 가스 스트림의 적어도 일부를 압축시키는 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.

[0642] 실시양태 6. 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림이 (i) C_2+ 알코올을 포함하는 하나 이상의 스트림; (ii) H_2 , CO , 개질가능한 연료 또는 이들의 조합을 포함하는 하나 이상의 스트림; 또는 (iii) (i)과 (ii) 둘 다를 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.

[0643] 실시양태 7. 반응 단계가 메탄올 합성 촉매의 존재하에 반응시키기 위하여 재순환되는 합성 가스를 포함하는 하나 이상의 스트림을 추가로 생성하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.

[0644] 실시양태 8. 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.

[0645] 실시양태 9. 연료 스트림이 5부피% 이상(예를 들어, 약 10부피% 이상, 약 20부피% 이상, 약 30부피% 이상, 약 35부피% 이상, 또는 약 40부피% 이상)의 불활성 기체(예를 들어, CO_2 및/또는 N_2 를 포함함)를 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.

[0646] 실시양태 10. 효과적인 메탄올 합성 조건이 약 5MPag 내지 약 10MPag의 압력 및 약 250°C 내지 약 300°C의 온도를 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.

[0647] 실시양태 11. 상기 방법이 애노드 배기 가스, 애노드 배출 가스 스트림 또는 이들의 조합으로부터 H_2O 를 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.

[0648] 실시양태 12. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 약 0.25 내지 약 0.8, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.

[0649] 실시양태 13. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상(예를 들어, 약 2.0 이상, 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상)의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.

[0650] 실시양태 14. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.

[0651] 실시양태 15. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실

시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0652] 실시양태 16. 용융 카보네이트 연료 전지가, 약 $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상의 전류 밀도의 전력 및 약 $40\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상(예를 들어, 약 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 약 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 약 $80\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 또는 약 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상)의 폐열을 생성하도록 작동되고, 상기 방법이, 약 100°C 이하의 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 유지하기에 효과적인 양의 흡열성 반응을 수행함을 추가로 포함하고, 이 때 흡열 반응을 수행하는 것이 임의적으로는 폐열의 약 40% 이상을 소비하는, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0653] 실시양태 17. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 16중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0654] 실시양태의 이 군은 군 T이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0655] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 정유소에서 수소를 생성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H_2 및 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스 상에서 분리(예컨대, 막을 사용함)를 수행하여, 애노드 배기 가스의 CO_2 함량보다 더 큰 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 풍부한 기체 스트림 및 애노드 배기 가스의 CO_2 함량보다 더 적은 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 고갈된 기체 스트림을 형성하고; CO_2 가 고갈된 기체 스트림을 하나 이상의 제 2 정유 공정에 전달함을 포함하는, 이 때 상기 CO_2 가 고갈된 기체 스트림이 임의적으로는 H_2 가 풍부한 기체 스트림 및 합성 가스 스트림을 포함하는, 방법.
- [0656] 실시양태 2. 캐소드 입구 스트림이 하나 이상의 제 1 정유 공정으로부터 직접적으로 또는 간접적으로 유도되는 하나 이상의 CO_2 -함유 스트림을 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0657] 실시양태 3. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0658] 실시양태 4. 상기 방법이 하나 이상의 분리 스테이지에서 애노드 배기 가스, CO_2 가 고갈된 스트림 및 CO_2 가 풍부한 스트림중 하나 이상으로부터 H_2O 를 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0659] 실시양태 5. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상(예를 들어, 약 2.0 이상, 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상)의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0660] 실시양태 6. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0661] 실시양태 7. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0662] 실시양태 8. 용융 카보네이트 연료 전지를, 전력 및 약 $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상(예를 들어, 약 $80\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상, 또는 약 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상)의 폐열을 생성시키도록 제 1 작동 조건에서 작동시키고, 제 1 작동 조건이 약 $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 이상의 전류 밀도를 제공하며, 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 100°C 이하(예를 들어, 약 80°C

이하 또는 약 60℃ 이하)로 유지하는데 효과적인 양의 흡열 반응을 수행하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0663] 실시양태 9. 흡열 반응을 수행하는 것이 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 8의 방법.
- [0664] 실시양태 10. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 또는 약 10% 내지 약 20%)이고, 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상(예컨대, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0665] 실시양태 11. 하기중 하나 이상을 충족시키는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법: 하나 이상의 제 1 정유 공정의 하나 이상의 공정이 하나 이상의 제 2 정유 공정의 공정이고; 하나 이상의 제 3 정유 공정으로부터 연료 스트림을 유도하고; 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1의 H_2 대 CO 의 몰비를 갖고 약 10부피% 이상의 CO_2 함량을 가짐.
- [0666] 실시양태 12. 연료 스트림의 적어도 일부를 애노드 내로 도입하기 전에 예비 개질 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0667] 실시양태 13. 연료 스트림의 적어도 일부를 애노드 내로 도입하기 전에 탈황 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0668] 실시양태 14. 상기 방법이 수성 가스 전화 공정을 이용하여 애노드 배기 가스, CO_2 가 풍부한 기체 스트림 및 CO_2 가 고갈된 기체 스트림중 하나 이상의 H_2 함량을 변화시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0669] 실시양태 15. CO_2 가 고갈된 스트림을 제 1 H_2 순도를 갖는 H_2 가 풍부한 제 1 스트림 및 제 2 H_2 순도를 갖는 H_2 가 풍부한 제 2 스트림으로 추가로 분리시키고, H_2 가 풍부한 제 2 스트림을 H_2 가 풍부한 제 1 스트림보다 더 큰 압력으로 압축시키는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0670] 실시양태의 이 군은 군 U이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0671] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; H_2 및 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고; 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 CO_2 를 분리하여 애노드 배기 가스의 CO_2 함량보다 더 큰 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 풍부한 기체 스트림 및 애노드 배기 가스의 H_2 함량보다 더 큰 H_2 함량을 갖는 CO_2 가 고갈된 기체 스트림을 형성하고; CO_2 가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성 공정에 사용하고/하거나 CO_2 가 풍부한 스트림의 적어도 일부를 유기 질소-함유 화합물(예컨대, 우레아)을 형성시키는 제 2 합성 공정에 사용함을 포함하는, 질소-함유 화합물을 합성하는 방법.
- [0672] 실시양태 2. CO_2 가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부를 사용하는 것이, 하나 이상의 암모니아-함유 스트림 및 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림을 형성시키기에 효과적인 암모니아 합성 조건 하에서 CO_2 가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부를 촉매에 노출시키고, 임의적으로는 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림(이는 H_2 및/또는 CH_4 를 포함하는 하나 이상의 스트림을 포함하는 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림을 포함할 수 있음)의 적어도 일부를 재순환시켜 캐소드 입구 스트림의 적어도 일부를 형성함을 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0673] 실시양태 3. 상기 방법이 애노드 배기 가스, CO_2 가 분리되기 전의 애노드 배기 가스의 적어도 일부, CO_2 가 고갈된 기체 스트림, 암모니아 합성 공정에 사용되기 전의 CO_2 가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부, 또는 이들의 조

합의 조성을 조정함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.

- [0674] 실시양태 4. 조성을 조정하는 것이, (i) 수성 가스 전화 공정을 수행하고, (ii) 역 수성 가스 전화 공정을 수행하고, (iii) 분리를 수행하여 조성중 물 함량을 감소시키고, (iv) 분리를 수행하여 조성중 CO₂ 함량을 감소시키는 것중 하나 이상을 포함하는, 실시양태 3의 방법.
- [0675] 실시양태 5. CO₂가 고갈된 기체 스트림으로부터 H₂가 농축된 스트림을 분리함으로써 CO₂가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부를 형성하고, 분리된 H₂가 농축된 스트림이 약 90부피% 이상의 H₂(예를 들어, 약 95부피% 이상의 H₂, 약 98부피% 이상의 H₂, 또는 약 99부피% 이상의 H₂)를 포함하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0676] 실시양태 6. 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1(예를 들어, 적어도 약 4.0:1) 및 임의적으로는 약 10:1 이하의 H₂:CO의 물비를 갖는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0677] 실시양태 7. 상기 방법이 캐소드 배기 가스로부터 N₂를 포함하는 기체 스트림을 회수하고, N₂를 포함하는 회수된 기체 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성 공정에서 N₂의 공급원으로서 사용함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0678] 실시양태 8. 제 2 합성 공정이 암모니아 합성 공정으로부터의 암모니아를 사용하여 유기 질소-함유 화합물을 형성함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0679] 실시양태 9. 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 실시양태 1 내지 8중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0680] 실시양태 10. 효과적인 암모니아 합성 조건이 약 6MPag 내지 약 18MPag의 압력 및 약 350℃ 내지 약 500℃의 온도를 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0681] 실시양태 11. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0682] 실시양태 12. 공기를 PSA 장치를 통해 통과시켜, 산소가 풍부한 오프-가스 스트림을 캐소드 입구로 보내고 질소가 풍부한 생성물 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성 공정으로 보내도록, 질소가 풍부한 생성물 스트림 및 산소가 풍부한 오프-가스 스트림을 생성하는 공기 분리 단계로부터, 캐소드 입구 스트림중 O₂의 적어도 일부를 유도하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0683] 실시양태 13. 상기 방법이 캐소드 배기 가스로부터 N₂를 포함하는 N₂가 풍부한 기체 스트림을 회수하고, N₂가 풍부한 기체 스트림중 적어도 일부를 암모니아 합성 공정에서 N₂의 공급원으로서 사용함(예를 들어, N₂가 풍부한 기체 스트림의 적어도 일부를 효과적인 합성 조건 하에서 합성 촉매에 노출시킴으로써)을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0684] 실시양태 14. 암모니아 합성 공정에서 N₂의 공급원으로서 캐소드 배기 가스 스트림의 적어도 일부를 사용하는 것이, N₂가 풍부한 기체 스트림 상에서 분리 공정 및 정제 공정중 하나 이상을 수행하여 N₂의 농도를 증가시킨 다음 N₂가 풍부한 기체 스트림의 적어도 일부를 증가된 N₂ 농도로 암모니아 합성 공정에 통과시킴을 포함하는, 실시양태 13의 방법.
- [0685] 실시양태 15. 상기 방법이 애노드 배기 가스, CO₂가 풍부한 기체 스트림, CO₂가 고갈된 기체 스트림 및 캐소드 배기 가스중 하나 이상으로부터 H₂O를 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0686] 실시양태 16. 상기 방법이 CO₂가 풍부한 기체 스트림, CO₂가 고갈된 기체 스트림, 및 애노드 배기 가스 스트림중 적어도 일부를 수성 가스 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0687] 실시양태 17. 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈으로부터의 배기 가스를 포함하는, 실시양태 1 내지 16중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0688] 실시양태 18. 애노드 배기 가스의 10부피% 미만을 애노드 또는 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시

키는, 실시양태 1 내지 17중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0689] 실시양태 19. 애노드 배기 가스를 애노드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 18중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0690] 실시양태 20. 애노드 배기 가스를 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키지 않는, 실시양태 1 내지 19중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0691] 실시양태 21. 1회 통과시 애노드에서 생성되는 H_2 의 10부피% 미만을 직접적으로 또는 간접적으로 애노드 또는 캐소드로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 20중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0692] 실시양태 22. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 애노드, 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합의 약 90% 이상을 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1 내지 21중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0693] 실시양태 23. 애노드, 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 반응하여 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예컨대, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 내지 22중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0694] 실시양태 24. 개질가능한 연료 과잉 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 2.5 이상 또는 약 3.0 이상)인, 실시양태 1 내지 23중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0695] 실시양태 25. 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 50% 이상(예컨대, 약 60% 이상)인, 실시양태 1 내지 24중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0696] 실시양태 26. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 용융 카보네이트 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상(예를 들어, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 25중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0697] 실시양태 27. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비로 작동시키는, 실시양태 1 내지 26중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0698] 실시양태 28. 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 27중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0699] 실시양태 29. 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예컨대, 약 45% 이하, 약 40% 이하, 약 35% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 28중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0700] 실시양태 30. 용융 카보네이트 연료 전지를, 전력 및 약 $50mW/cm^2$ 이상(예를 들어, 약 $100mW/cm^2$ 이상)의 폐열을 생성시키도록 제 1 작동 조건에서 작동시키고, 제 1 작동 조건이 약 $150mA/cm^2$ 의 전류 밀도를 제공하며, 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $100^\circ C$ 이하(예를 들어, 약 $80^\circ C$ 이하 또는 약 $60^\circ C$ 이하)로 유지하기에 효과적인 양의 흡열 반응을 수행하는, 실시양태 1 내지 29중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0701] 실시양태 31. 흡열 반응을 수행하는 것이 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 30의 방법.
- [0702] 실시양태의 이 군은 군 V이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0703] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트

연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 약 500kPag 이하의 압력을 갖는 애노드 배기 가스로부터 CO를 포함하는 제 1 기체 스트림을 회수하고; 애노드 배기 가스로부터 회수된 제 1 기체 스트림을 제철 및/또는 제강 공정 내로 도입함을 포함하는, 제철 및/또는 제강 방법.

- [0704] 실시양태 2. 상기 방법이 생성된 전기를 이용하여 제철 및/또는 제강 공정에 열을 제공함을 추가로 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0705] 실시양태 3. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 H₂를 포함하는 제 2 기체 스트림을 회수하고, 제철 및/또는 제강 공정을 가열하기 위한 연료로서 제 2 기체 스트림을 사용함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0706] 실시양태 4. 상기 방법이 애노드 배기 가스, 애노드 배기 가스로부터 회수된 제 1 기체 스트림 또는 이들의 조합으로부터 물을 분리하고, 분리된 물을 사용하여 공정 슬래그를 세척함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 3 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0707] 실시양태 5. 캐소드 입구 스트림이 제철 및/또는 제강 공정에 의해 생성되는 CO₂-함유 배기 가스의 적어도 일부를 포함하는, 실시양태 1 내지 4 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0708] 실시양태 6. 상기 방법이 제철 및/또는 제강 공정에 의해 생성되는 CO₂-함유 배기 가스로부터 CO₂를 분리함을 추가로 포함하는, 실시양태 6의 방법.
- [0709] 실시양태 7. 상기 방법이 회수된 제 1 기체 스트림을 제철 및/또는 제강 공정 내로 도입하기 전에 회수된 제 1 기체 스트림을 효과적인 수성 가스 전화 조건 하에서 수성 기체 전화 촉매에 노출시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 6 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0710] 실시양태 8. 약 1.0 이하의 열 비에서 전기를 생성시키도록 용융 카보네이트 연료 전지를 작동시키고, 상기 방법이 제철 및/또는 제강 공정으로부터의(예컨대, 로로부터의) 열을 용융 카보네이트 연료 전지로 전달함을 추가로 포함하고, 이 때 애노드 배기 가스의 온도가 애노드 입구에서의 온도보다 높은, 실시양태 1 내지 7 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0711] 실시양태 9. 열을 전달하는 것이 제철 및/또는 제강 공정 로 및 제철 및/또는 제강 공정 배기 가스와 애노드 입구 스트림 사이에서 열 교환을 수행함을 포함하고, 열 교환을 수행하는 것이 임의적으로는 애노드 입구 스트림의 온도를 약 100℃ 이상만큼(예를 들어, 약 150℃ 이상만큼) 증가시킴을 포함하는, 실시양태 8의 방법.
- [0712] 실시양태 10. 상기 방법이 회수된 기체 스트림을 제철 및/또는 제강 공정 내로 도입하기 전에 효과적인 수성 가스 전화 조건 하에서 수성 가스 전화 촉매에 상기 기체 스트림을 노출시킴을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 9 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0713] 실시양태 11. 상기 방법이 애노드 배기 가스, 회수된 제 1 기체 스트림 또는 이들의 조합으로부터 물을 분리하고, 분리된 물을 사용하여 공정 슬래그를 세척함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0714] 실시양태 12. 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 1.5 이상(예를 들어, 약 2.0 이상, 약 2.5 이상, 또는 약 3.0 이상)의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공하는, 실시양태 1 내지 11 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0715] 실시양태 13. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 애노드, 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1 내지 12 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0716] 실시양태 14. 연료 전지 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 연료 전지 캐소드 배기 가스중 CO₂의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예를 들어, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)인, 실시양태 1 내지 13 중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0717] 실시양태 15. 애노드에서의 연료 이용률이 약 65% 이하(예컨대, 약 60% 이하, 약 50% 이하, 약 40% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO₂ 이용률이 약 50% 이상(예를 들어, 약 60% 이

상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)인, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.

- [0718] 실시양태 16. 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 약 10% 내지 약 25%, 약 10% 내지 약 20%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 50% 이상(예를 들어, 약 55% 이상, 약 60% 이상, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)인, 실시양태 1 내지 15중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0719] 실시양태 17. 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1(예를 들어, 적어도 약 4.0:1, 약 3.0:1 내지 약 10:1, 또는 약 4.0:1 내지 약 10:1)의 $H_2:CO$ 의 몰비를 갖는, 실시양태 1 내지 16중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0720] 실시양태 18. 개질가능한 연료의 약 90부피% 이상이 메탄인, 실시양태 1 내지 17중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0721] 실시양태 19. 1회 통과시 애노드에서 생성되는 H_2 의 10부피% 미만을 애노드 또는 캐소드로 직접적으로 또는 간접적으로 재순환시키는, 실시양태 1 내지 18중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0722] 실시양태 20. 애노드, 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 반응하여 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많은, 실시양태 1 내지 19중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0723] 실시양태 21. 용융 카보네이트 연료 전지가 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지를 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 20중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0724] 실시양태 22. 하나 이상의 통합된 흡열 반응 스테이지가 통합된 개질 스테이지를 추가로 포함하고, 애노드 내로 도입되는 연료 스트림을 임의적으로는 애노드에 들어가기 전에 하나 이상의 통합된 개질 스테이지를 통해 통과시키는, 실시양태 21의 방법.
- [0725] 실시양태 23. 용융 카보네이트 연료 전지를, 전력 및 약 $30mW/cm^2$ 이상(예를 들어, 약 $40mW/cm^2$ 이상, 약 $50mW/cm^2$ 이상, 또는 $100mW/cm^2$ 이상)의 폐열을 생성시키도록 제 1 작동 조건에서 작동시키고, 제 1 작동 조건이 약 $150mA/cm^2$ 의 전류 밀도를 제공하며, 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $100^\circ C$ 이하(예를 들어, 약 $80^\circ C$ 이하 또는 약 $60^\circ C$ 이하)로 유지하기에 효과적인 양의 흡열 반응을 수행하는, 실시양태 1 내지 22중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0726] 실시양태 24. 흡열 반응을 수행하는 것이 폐열의 약 40% 이상(예를 들어, 약 50% 이상, 약 60% 이상, 또는 약 75% 이상)을 소비하는, 실시양태 23의 방법.
- [0727] 실시양태 25. 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.68V 미만(예컨대, 약 0.67V 미만, 약 0.66V 미만, 또는 약 0.65V 미만), 및 임의적으로는 약 0.60V 이상(예컨대, 약 0.61V 이상, 약 0.62V 이상, 또는 약 0.63V 이상)의 전압 V_A 에서 작동시키는, 실시양태 1 내지 24중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0728] 실시양태 26. 상기 방법이 개질가능한 연료를 개질시킴을 추가로 포함하고, 이 때 애노드, 애노드에 수반되는 개질 스테이지 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 약 90% 이상을 애노드에 1회 통과시킴으로써 개질시키는, 실시양태 1 내지 25중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0729] 실시양태의 이 군은 군 W이다. "상기 임의의 실시양태"를 언급하는 것은 이 군 내의 다른 실시양태만을 일컫는 의미인 반면, "상기 임의의 실시양태 군"을 언급하는 것은 하나 이상의 다른 군으로부터의 임의의 개별 실시양태 또는 실시양태의 조합을 일컫는 의미이다.
- [0730] 실시양태 1. 상기 임의의 실시양태 군에 추가적으로 또는 다르게는, 발효된 생성물을 생성하는 방법으로서, 개질가능한 연료를 포함하는 연료 스트림을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입하고; CO_2 및 O_2 를 포함하는 캐소드 입구 스트림을 연료 전지의 캐소드 내로 도입하고; 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 생산하고; 애노드 배기 가스로부터 H_2 -함유 스트림, 합성 가스-함유 스트림, 또는 이들의 조합을 분리하고; 생물질을 가공하여 하나 이상의 발효 생성물 및 발효 배기 가스를 생성하고; 하나 이상의 발효 생성물을 증류시킴을 포함하고, 이 때 애노드 배기 가스와 열 교환, 합성 가스-함유 스트림의 연소, H_2 -함유 스트림의 연소, 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 발생된 전기를 사용한 가열, 또는 이들의 조합에 의해 증류 열중 적어도 일부를 제공하며, 상기 방법이 하기중 하나 이상을 추가로 포함

하는 방법:

- [0731] a) 캐소드 입구 스트림이 발효 배기 가스의 적어도 일부를 포함함;
- [0732] b) 애노드 배기 가스로부터 분리된 H_2O , 합성 가스-함유 스트림으로부터 분리된 H_2O , H_2 -함유 스트림으로부터 분리된 H_2O 또는 이들의 조합의 존재하에 가공 단계를 수행함;
- [0733] c) 개질가능한 연료가 발효 생성물의 일부를 포함하고, 개질가능한 연료가 임의적으로는 발효 생성물의 50부피% 이상(예컨대, 60부피% 이상 또는 70부피% 이상)을 임의적으로 함유하며, 발효 생성물의 일부가 임의적으로는 약 1.5:1 내지 약 3.0:1(예를 들어, 약 1.5:1 내지 약 2.5:1)의 물 대 탄소 비를 갖는 발효 생성물의 증류된 부분임;
- [0734] d) 가공 단계가 실질적으로 발효불가능한 생물질 부분으로부터 발효가능한 생물질 부분을 분리하고, 실질적으로 발효불가능한 생물질 부분을 H_2 -함유 기체 스트림의 적어도 일부, 합성 가스-함유 스트림의 적어도 일부, 또는 이들의 조합의 존재하에 하나 이상의 열 공정, 화학적 공정 및/또는 열화학적 공정에서 가공함;
- [0735] e) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 양이 약 2.0 이상의 개질가능한 연료 과잉 비를 제공함;
- [0736] f) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드, 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에 수반되는 내부 개질 요소, 또는 이들의 조합 내로 도입되는 개질가능한 연료의 개질가능한 수소 함량이 산화되어 전기를 발생시키는 수소의 양보다 약 50% 이상(예를 들어, 약 75% 이상 또는 약 100% 이상) 더 많음;
- [0737] g) 용융 카보네이트 연료 전지의 전기 효율이 약 10% 내지 약 40%(예를 들어, 약 10% 내지 약 35%, 약 10% 내지 약 30%, 또는 약 10% 내지 약 25%)이고, 연료 전지의 총 연료 전지 효율이 약 55% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 약 75% 이상, 또는 약 80% 이상)임;
- [0738] h) 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.25 내지 약 1.5(예를 들어, 약 0.25 내지 약 1.3, 약 0.25 내지 약 1.15, 약 0.25 내지 약 1.0, 약 0.25 내지 약 0.85, 또는 약 0.25 내지 약 0.75)의 열 비에서 작동시킴;
- [0739] i) 애노드 배기 가스중 합성 가스의 순 몰수 대 캐소드 배기 가스중 CO_2 의 몰수의 비가 약 2.0 이상(예를 들어, 약 3.0 이상, 약 4.0 이상, 약 5.0 이상, 약 10.0 이상, 또는 약 20.0 이상), 및 임의적으로는 약 40.0 이하(예컨대, 약 30.0 이하 또는 약 20.0 이하)임;
- [0740] j) 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드에서의 연료 이용률이 약 50% 이하(예를 들어, 약 40% 이하, 약 30% 이하, 약 25% 이하, 또는 약 20% 이하)이고, 캐소드에서의 CO_2 이용률이 약 60% 이상(예를 들어, 약 65% 이상, 약 70% 이상, 또는 약 75% 이상)임;
- [0741] k) 용융 카보네이트 연료 전지를 전력 및 $100mW/cm^2$ 이상의 폐열을 생성하는 제 1 작동 조건에서 작동시키고, 제 1 작동 조건이 약 $150mA/cm^2$ 이상의 전류 밀도를 제공하며, 효과량의 흡열 반응을 수행하여 애노드 입구와 애노드 출구 사이의 온도 차이를 약 $80^\circ C$ 이하(예컨대 약 $60^\circ C$ 이하)로 유지시킴;
- [0742] l) 용융 카보네이트 연료 전지를 약 0.60볼트 내지 약 0.67볼트(예를 들어, 약 0.60볼트 내지 약 0.65볼트, 약 0.62볼트 내지 약 0.67볼트, 또는 약 0.62볼트 내지 약 0.65볼트)의 전압 V_A 에서 작동시키고, 용융 카보네이트 연료 전지를 임의적으로는 약 65% 이하의 연료 이용률로 작동시킴;
- [0743] m) 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈 배기 가스의 적어도 일부를 포함하고, 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 애노드 내로 재순환시킴;
- [0744] n) 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈 배기 가스의 적어도 일부를 포함하고, 캐소드 배기 가스의 적어도 일부를 연소 터빈의 연소 대역용 애노드 재순환 연료로서 사용하고, 연소 터빈의 연소 대역용의 임의적인 제 2 연료 스트림이 임의적으로는 약 30부피% 이상의 CO_2 및/또는 약 35부피% 이상의 CO_2 와 불활성 물질의 조합(예를 들어, 약 40부피% 이상의 CO_2 와 불활성 물질의 조합, 또는 약 45부피% 이상의 CO_2 와 불활성 물질의 조합, 또는 약 50부피% 이상의 CO_2 와 불활성 물질의 조합)을 포함함;
- [0745] o) 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈 배기 가스의 적어도 일부를 포함하고, 애노드 배기 가스의 적어도 제 1 부

분을 연소 터빈의 연소 대역용 애노드 재순환 연료로서 사용하고, 애노드 배기 가스의 적어도 제 2 부분을 용융 카보네이트 연료 전지의 애노드 내로 재순환시킴;

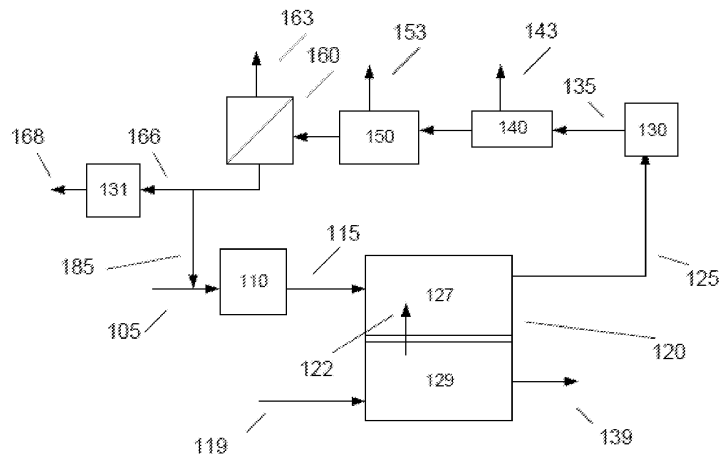
- [0746] p) 캐소드 입구 스트림이 연소 터빈 배기 가스의 적어도 일부를 포함하고, 캐소드 입구 스트림이 약 20vppm 이상의 NO_x 를 포함하고, 캐소드 배기 가스가 캐소드 입구 스트림의 NO_x 함량의 약 절반 미만을 포함함;
- [0747] q) 상기 방법이 H_2 -함유 기체 스트림의 적어도 일부를 연소시켜 전기를 생성함을 추가로 포함하고, 이 때 임의적으로는 제 2 터빈의 연소 대역에서 연소를 수행하며, 캐소드 입구 스트림이 임의적으로는 탄소-함유 연료의 연소에 의해 발생하는 연소 터빈 배기 가스의 적어도 일부를 포함함;
- [0748] r) 상기 방법이, 메탄올을 형성시키기에 효과적인 조건 하에서 메탄올 합성 촉매의 존재하에 합성 가스-함유 스트림의 적어도 일부를 반응시켜, 하나 이상의 메탄올-함유 스트림 및 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림을 생성하고, 임의적으로는 기체 또는 액체 생성물을 포함하는 하나 이상의 스트림의 적어도 일부를 재순환시켜 캐소드 입구 스트림의 적어도 일부를 형성함을 추가로 포함함;
- [0749] s) 상기 방법이, 임의적으로 하나 이상의 제 1 정유 공정으로부터 유도되는 하나 이상의 CO_2 -함유 스트림을 캐소드 입구로 보내고, 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 CO_2 를 분리하여 애노드 배기 가스의 CO_2 함량보다 더 많은 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 풍부한 기체 스트림 및 애노드 배기 가스의 CO_2 함량 미만인 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 고갈된 기체 스트림을 형성하고, CO_2 가 고갈된 기체 스트림을 하나 이상의 제 2 정유 공정에 전달함을 추가로 포함함;
- [0750] t) 상기 방법이, 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 CO_2 를 분리하여, 애노드 배기 가스의 CO_2 함량보다 더 많은 CO_2 함량을 갖는 CO_2 가 풍부한 스트림 및 애노드 배기 가스의 H_2 함량보다 더 많은 H_2 함량을 갖는 CO_2 가 고갈된 스트림을 생성하고, CO_2 가 고갈된 기체 스트림의 적어도 일부를 암모니아 합성 공정, 유기 질소-함유 화합물의 합성 공정 또는 둘 다에 사용함을 추가로 포함함;
- [0751] u) 상기 방법이, 약 500kPag 이하의 압력을 갖는 애노드 배기 가스로부터 CO를 포함하는 제 1 기체 스트림을 회수하고, 애노드 배기 가스로부터 회수된 제 1 기체 스트림을 제철 및/또는 제강 공정 내로 도입하며, 임의적으로는 애노드 배기 가스로부터 H_2 를 포함하는 제 2 기체 스트림을 회수하고, 회수되는 경우 제 2 기체 스트림을 제철 및/또는 제강 공정에서 가열하기 위한 연료로서 사용함을 추가로 포함함;
- [0752] v) 상기 방법이, H_2 , CO, H_2O 및 약 20부피% 이상의 CO_2 를 포함하는 애노드 배기 가스를 생성하고, 전화 피셔-트롭쉬 촉매의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건에서 애노드 배기 가스의 적어도 일부를 반응시켜 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성하고, 하나 이상의 기체 생성물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 추가로 포함하고, 이 때 애노드 배기 가스의 적어도 일부중의 CO_2 농도가 애노드 배기 가스의 CO_2 농도의 80% 이상임;
- [0753] w) 상기 방법이, H_2 , CO, CO_2 및 H_2O 를 포함하고 적어도 약 2.5:1의 H_2 대 CO의 비를 갖는 애노드 배기 가스를 생성하고, 애노드 배기 가스의 적어도 일부에서 H_2 대 CO의 비를 약 1.7:1 내지 약 2.3:1의 비로 감소시켜 애노드 배기 가스의 CO_2 농도의 60% 이상인 CO_2 농도를 갖는 전통적인 합성 가스 스트림을 생성하고, 비-형태 전환 피셔-트롭쉬 촉매의 존재하에 효과적인 피셔-트롭쉬 조건에서 전통적인 합성 가스 스트림을 반응시켜 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성하고, 임의적으로는 하나 이상의 기체 생성물의 적어도 일부를 캐소드 입구로 재순환시킴을 추가로 포함함;
- [0754] x) 상기 방법이, H_2 , CO 및 CO_2 를 포함하고 적어도 약 2.5:1의 H_2 대 CO의 비를 갖고 약 20부피% 이상의 CO_2 함량을 갖는 애노드 배기 가스를 생성하고, 애노드 배기 가스의 적어도 일부로부터 물 및 CO_2 를 제거하여 애노드 배출 가스 스트림을 생성하고, 애노드 배출 가스 스트림의 적어도 일부를 비-전화 피셔-트롭쉬 촉매 상에서 반응시켜 하나 이상의 기체 생성물 및 하나 이상의 비-기체 생성물을 생성함을 추가로 포함하고, 이 때 애노드 배출 가스 스트림이 애노드 배기 가스중 물의 농도의 절반 미만인 물 농도를 갖거나 애노드 배기 가스의 CO_2 함량의 절반 미만인 CO_2 함량을 갖거나 또는 이들의 조합을 가지며, 애노드 배출 가스 스트림이 또한 약 2.3:1 이하

의 H_2 대 CO 의 비를 가짐.

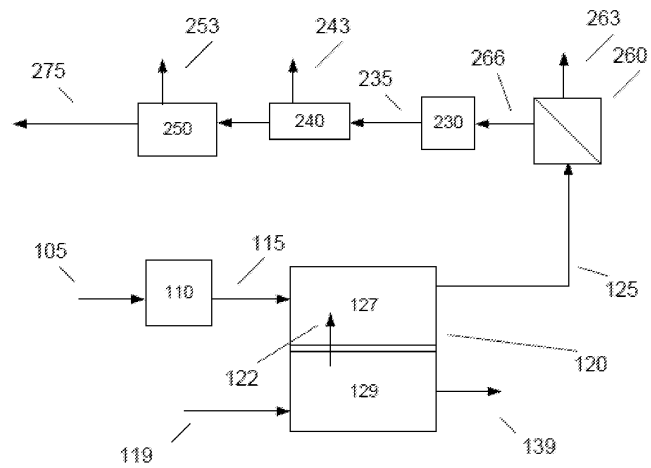
- [0755] 실시양태 2. 캐소드 입구 스트림이 애노드 배기 가스의 적어도 일부, 애노드 배기 가스로부터 회수되는 임의의 기체 스트림의 적어도 일부, 또는 이들의 조합을 포함하는, 실시양태 1의 방법.
- [0756] 실시양태 3. 캐소드 입구 스트림이 연소 반응으로부터의 배기 가스, 연소 터빈으로부터의 배기 가스 또는 이들의 조합의 적어도 일부를 포함하는, 실시양태 1 또는 2의 방법.
- [0757] 실시양태 4. 애노드 배기 가스로부터, 애노드 배기 가스로부터 회수된 임의의 기체 스트림으로부터, 또는 이들의 조합으로부터 CO_2 를 분리하고, 분리된 CO_2 의 적어도 일부를 임의적으로는 발효 배기 가스의 적어도 일부와 합치는, 실시양태 1 내지 3중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0758] 실시양태 5. 애노드 배기 가스로부터, 애노드 배기 가스로부터 회수된 임의의 기체 스트림으로부터, 또는 이들의 조합으로부터 H_2O 를 분리하는, 실시양태 1 내지 4중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0759] 실시양태 6. 상기 방법이, 애노드 배기 가스로부터 H_2O 를 분리하고, 분리된 H_2O 를 생물질의 가공 동안 사용하여 하나 이상의 발효 생성물을 생성함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 5중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0760] 실시양태 7. 용융 카보네이트 연료 전지 내에서 전기를 발생시키는 것이, 생물질 가공의 전기 수요, 생물질 가공의 열 수요 및 발효 생성물의 증류의 열 수요중 하나에 기초하여 선택되는 연료 이용률에서 연료 전지를 작동 시킴을 포함하는, 실시양태 1 내지 6중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0761] 실시양태 8. 개질가능한 연료를 생물질의 가공에 의해 생성되는 생물질 잔류물의 혐기성 소화에 의해 생물질로부터 유도하는, 실시양태 1 내지 7중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0762] 실시양태 9. 생물질의 가공에 의해 생성되는 생물질 잔류물의 부분적인 산화 및/또는 기화에 의해 생물질로부터 개질가능한 연료를 유도하는, 실시양태 8의 방법.
- [0763] 실시양태 10. 하나 이상의 발효 생성물이 에탄올을 포함하는, 실시양태 1 내지 9중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0764] 실시양태 11. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 CO_2 가 풍부한 스트림을 분리하고, CO_2 가 풍부한 스트림을 광합성 조류 생육 공정의 일부로서 사용함을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 10중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0765] 실시양태 12. 개질가능한 연료를 조류 생육조에서 발생하는 조류 생물질로부터 유도하는, 실시양태 1 내지 11중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0766] 실시양태 13. 상기 방법이 애노드 배기 가스로부터 CO_2 가 풍부한 스트림을 분리하고, CO_2 가 풍부한 스트림의 적어도 일부를 캐소드 입구로 보냄을 추가로 포함하는, 실시양태 1 내지 12중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0767] 실시양태 14. 발효 생성물의 연소에 기초하여 증류열의 적어도 일부를 제공하는, 실시양태 1 내지 13중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0768] 실시양태 15. 애노드 배기 가스가 적어도 약 3.0:1의 $H_2:CO$ 의 몰비를 갖는, 실시양태 1 내지 14중 어느 한 실시양태의 방법.
- [0769] 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

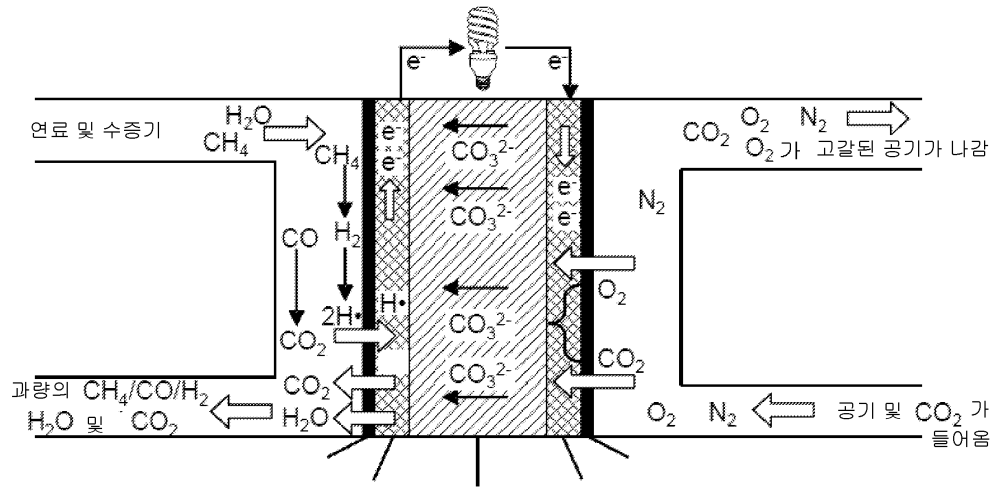
도면1



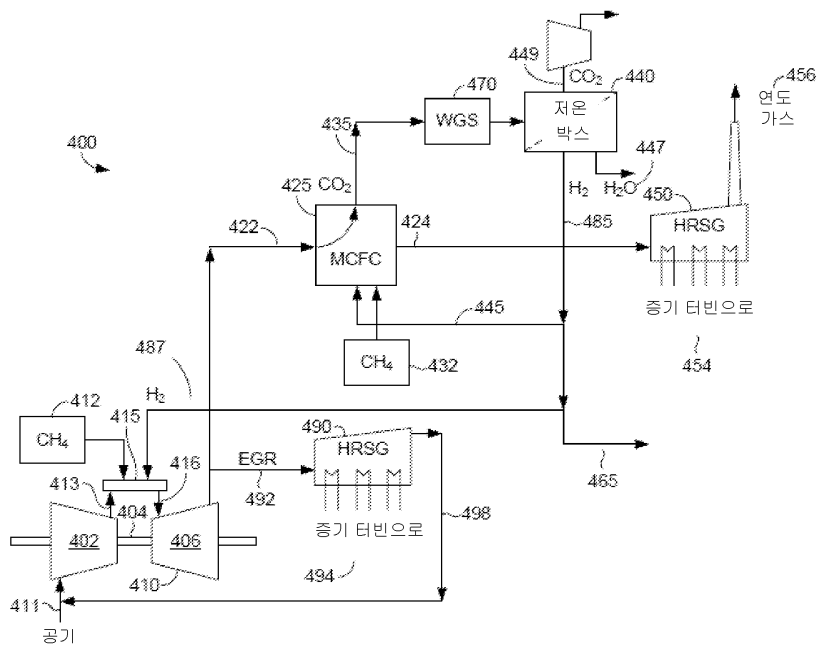
도면2



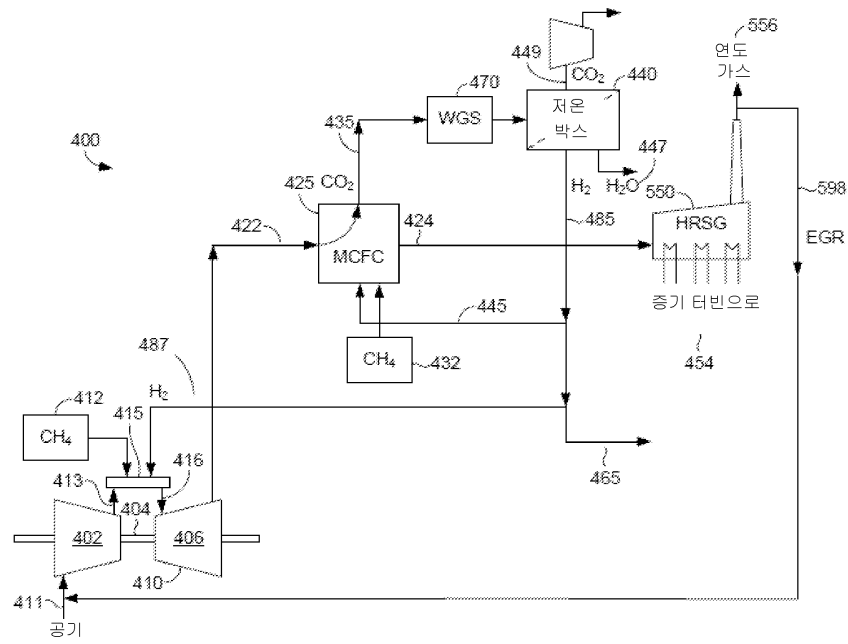
도면3



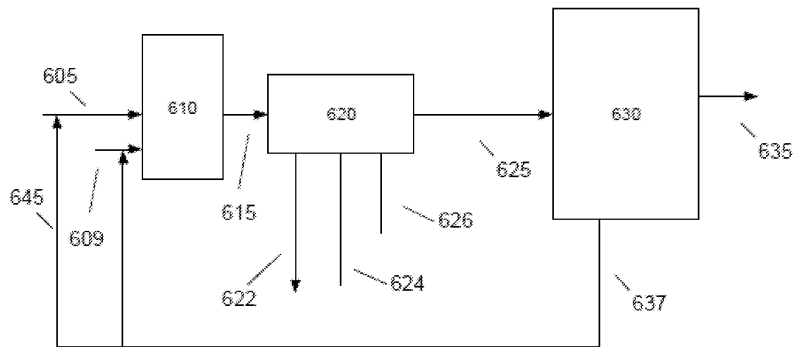
도면4



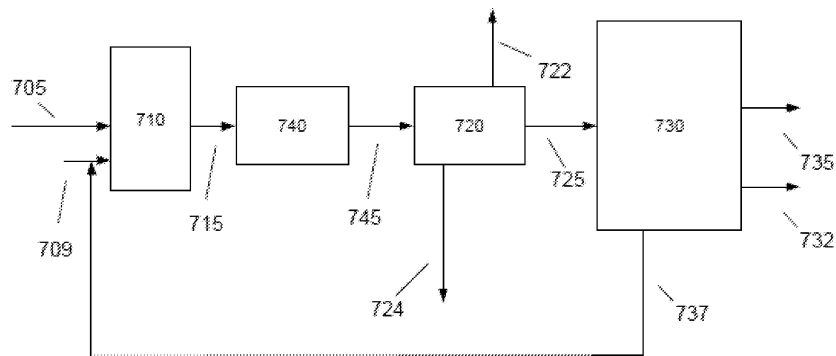
도면5



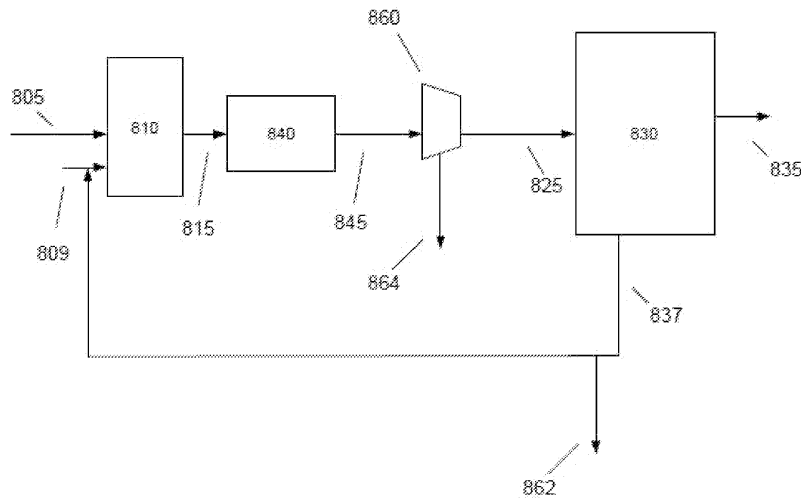
도면6



도면7



도면8



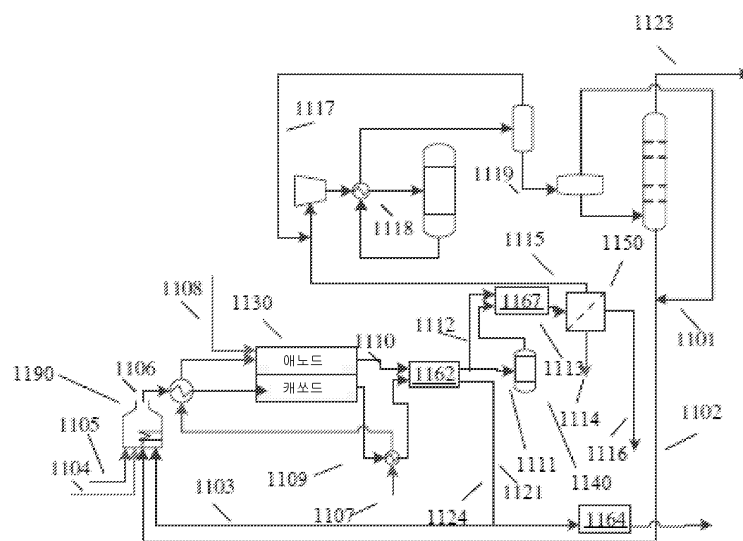
도면9

	전화 촉매(Co-계)		무연 촉매(Fe-계)	
	CO ₂ 포획 없음	CO ₂ 포획 있음	CO ₂ 포획 없음	CO ₂ 포획 있음
연료 이용률(%)	35%	35%	35%	35%
증기 대 탄소 비	2.00	2.00	2.00	2.00
배기 가스 재순환(%)	N/A	N/A	N/A	N/A
수성 가스 전화 반응기	역	역	없음	없음
내부 개질(%)	40%	40%	40%	40%
MCFC CO ₂ 캐소드 입구 농도(%)	18.71%	16.11%	18.64%	15.89%
MCFC CO ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	5.2%	1.3%	5.2%	1.1%
MCFC O ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	7.0%	7.5%	6.8%	7.3%
MCFC 전압(V)	0.65	0.65	0.65	0.65
MCFC 전류 밀도 (A/m ²)	2918	2595	2915	2565
MCFC 면적 (k-m ²)	77	87	77	88
애노드 증기 패널티(MW)	15.1	15.1	15.1	15.1
순 MCFC 전기 산출물(MW)	132	132	132	132
순 증기 터빈 전력(MW)	17	16	40	39
총 순 전력(MW)	100	95	122	116
전기 효율(%)	14.0%	13.3%	16.8%	16.2%
대략적인 총 플랜트 효율(%)	64.3%	63.7%	66.9%	66.6%
피셔-트롭쉬 액체(bpd)	5959	5948	5981	5981
탄소 평형 - C1으로서의 탄소(lb물/시간)				
입구				
덕트 버너로의 신선한 연료	463	434	527	485
애노드로의 신선한 연료	6614	6614	6614	6614
덕트 버너로의 공기중 CO ₂	17	17	17	17
출구				
스택 가스	2575	599	2606	517
FT 액체	4510	4501	4527	4527
격리됨	0	1939	0	2048
폐수중 CO ₂	9	25	25	25

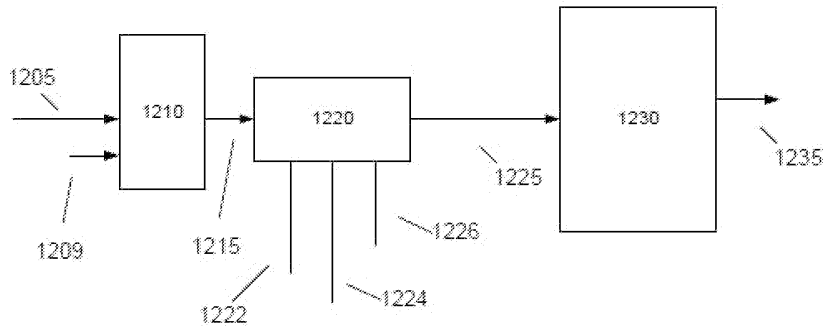
도면10

	FT 전에 CO ₂ 분리	FT 후에 CO ₂ 분리
연료 이용률(%)	30%	30%
증기 대 탄소 비	2.00	2.00
배기 가스 재순환(%)	0%	0%
수성 가스 전화 반응기	억	억
내부 개질(%)	20%	20%
MCFC CO ₂ 캐소드 입구 농도(%)	4.36%	4.25%
MCFC CO ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%
MCFC O ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	10.5%	10.5%
MCFC 전압(V)	0.70	0.70
MCFC 전류 밀도(A/m ²)	1054	1036
MCFC 면적(k-m ²)	152	150
CO ₂ 포획(%)	50.7%	52.1%
CO ₂ 포획(M톤/년)	1.36	1.34
면적/포획된 톤 (k-m ² * 년/M톤)	112.1	111.6
CO ₂ 배출가스(캐소드 배기 가스, lb CO ₂ / MWhr)	250.3	240.3
애노드 공급물중 비 H ₂ :변성가능한 C(물)	0.00	0.00
애노드 공급물중 N ₂ (%)	0.0%	0.0%
애노드 증기 페널티(MW)	12.9	12.5
H ₂ 또는 CO인 터빈 연료 %	3.5%	3.0%
총 순 전력(MW)	575	596
전기 효율(%)	40.2%	41.0%
대략적인 총 플랜트 효율(%)	61.3%	61.3%
피셔-트롭쉬 액체(bpd)	4986	4856
탄소 평형 - C1으로서의 탄소(lb몰/시간) 입구		
CTG로의 신선한 연료	8130	8548
덕트 버너로의 신선한 연료	516	486
애노드로의 신선한 연료	5489	5302
입구 공기중 CO ₂	71	71
출구		
스택 가스	3262	3252
FT 액체	3773	3675
격리됨	7166	7464
CO ₂ 폐수	5	15

도면11



도면12



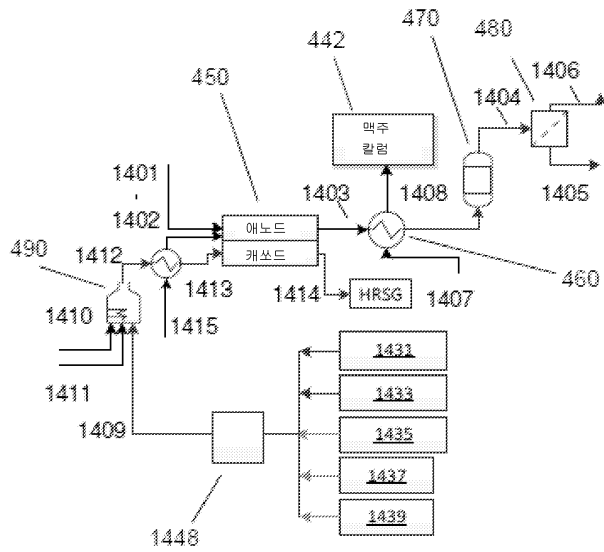
도면13

	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108
T (C)	30	30	578	30	30	694	30	626
[kg/시간]								
H2	506							
CH4	1779			70096			56656	
CO2	2275		51707		572	255420		
CO	347							
H2O	24	580	2839983			2989456		118254
N2	936		18647744		980700	19629204		
O2			135128		300735	142240		
Ar			17598		18524	18524		
MeOH	513	206						
DME	59							
CAHSOH		205						

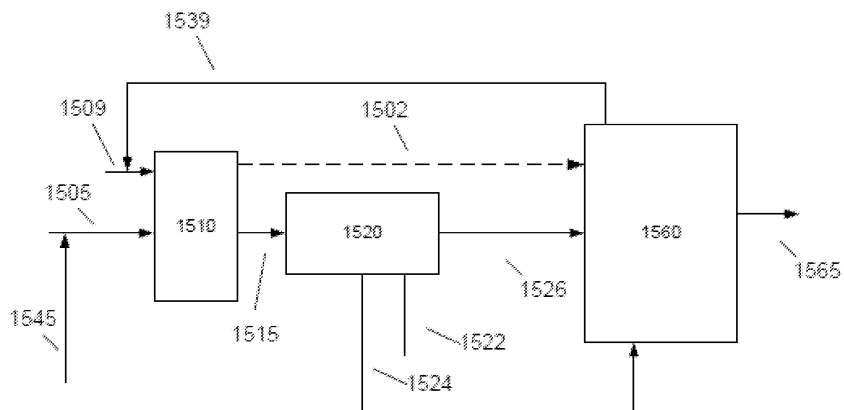
	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116
T (C)	593	593	350	350	200	50	50	50
[kg/시간]								
H2		13960	5137	8822	6771		15331	249
CH4		3421	1259	2162	1262		3026	395
CO2	54428	245002	90161	154841	129840		68408	222433
CO		65154	23977	41178	1361		39967	2507
H2O	2989456	116966	43044	73923	30200	104123		
N2	19629204	3198	1177	2021	1180		3022	176
O2	142240							
Ar	18524							
MeOH								
DME								
CAHSOH								

	1117	1118	1123	1124	1121
T (C)	30	271	35	578	578
[kg/시간]					
H2	61043	61561			
CH4	166687	168463			
CO2	68790	75601		54428	2721
CO	37570	37917			
H2O	251	12428	9	2989456	149473
N2	106617	107552		19629204	981460
O2				142240	7112
Ar				18524	926
MeOH	7874	113392	104763		
DME	3975	5234			
CAHSOH	2	208			

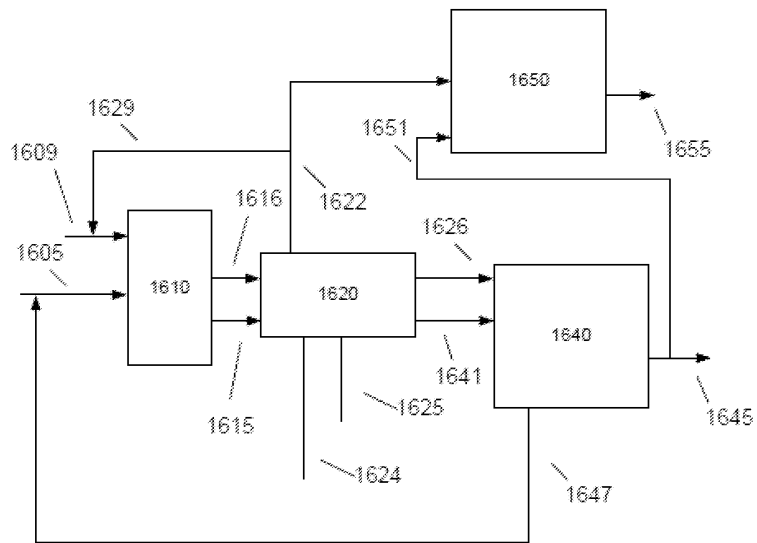
도면14



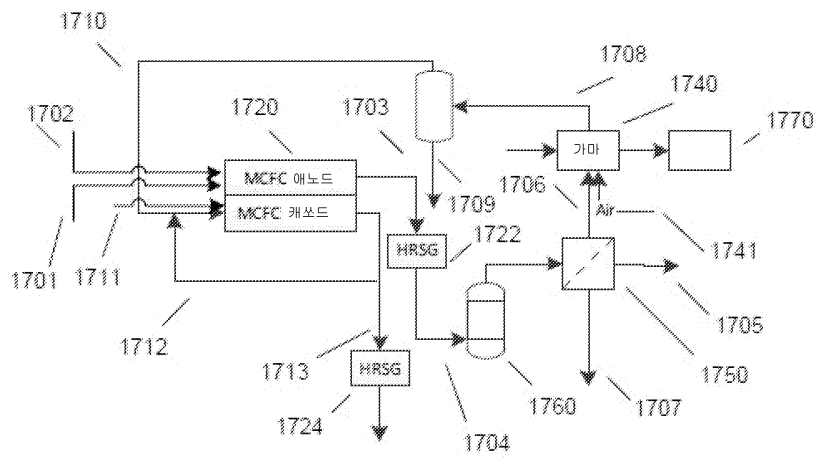
도면15



도면16



도면17

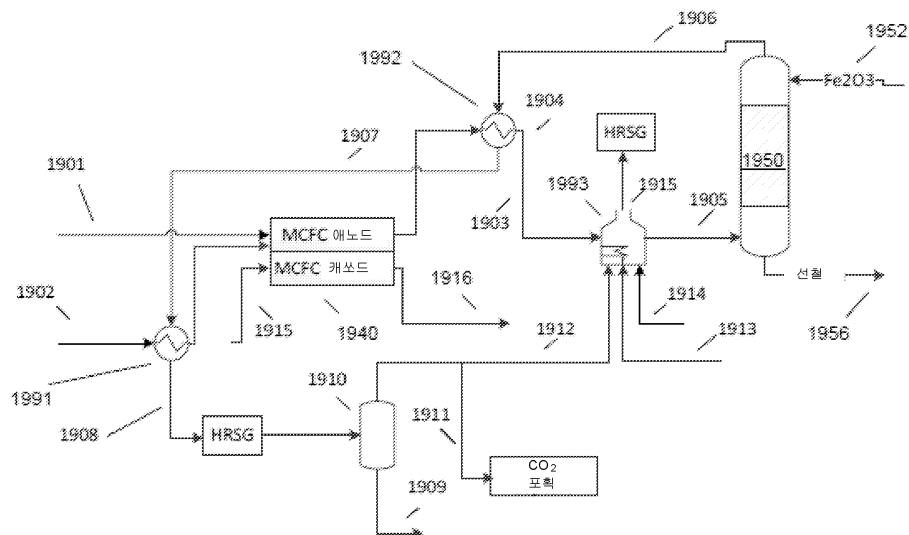


도면18

kg/시간	1701	1702	1703	1704	1705	1706	1707
H ₂			10092	10092		268	13164
CH ₄	41360		1728	1728		1712	36
CO ₂			167860	167860		238876	2420
CO			49728	49728		2940	28
H ₂ O		82768	81488	81488	1584	1856	36
N ₂							
O ₂							
Ar							

kg/시간	1708	1709	1710	1711	1712	1713
H ₂						
CH ₄						
CO ₂	185660		165660	220	7744	29084
CO						
H ₂ O	105360	94816	10528		2800	10528
N ₂	367444		367444	397936	203448	765380
O ₂	7328		7328	122016	21152	79584
Ar	6952		6952	7524	3828	14476

도면19

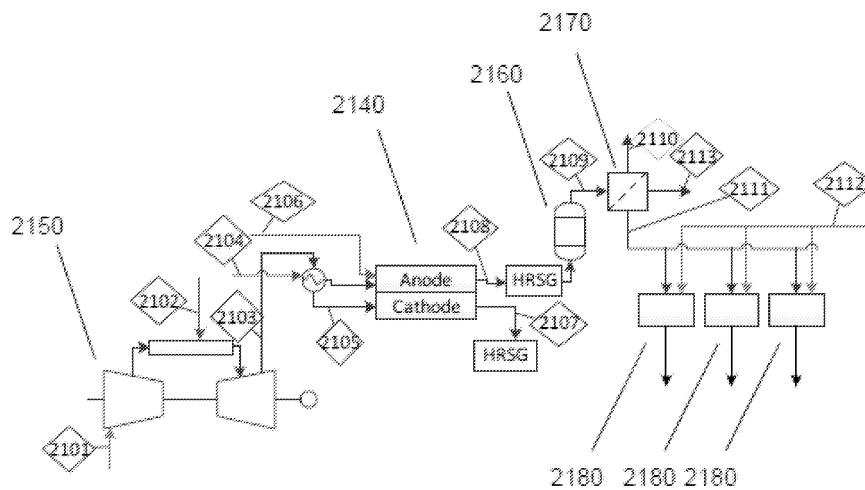


도면20

[illegible]

	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916
T (C)	30	30	30	30	30	1210	536
[kg/시간]							
CH4	23507	8768	14739		1604		
C2H6							
C3H8							
C4H10							
H2O	8591	3206	5389			123183	123183
CO2	414702	154684	260018			403899	403899
H2							
CO							
N2							
O2				740742		740742	740742
Ar				224919		15692	15692

도면21

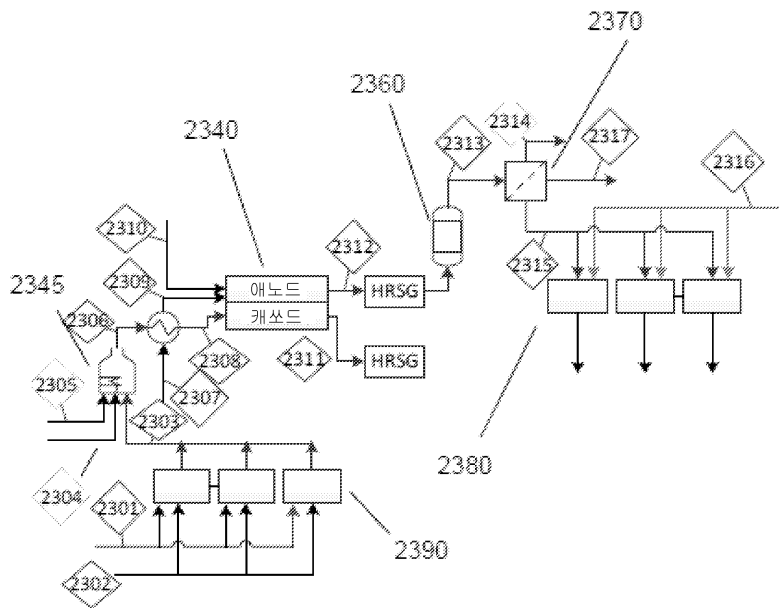


도면22

	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108
T [C]	30	19	150				30	
[kg/시간]								
H ₂								30847
CH ₄	318461			126438				5268
CO ₂			530613		530613		112318	513066
CO								152041
H ₂ O			328946		328946	252996	329078	249101
N ₂		3843305	3843249		3843249		3843352	
O ₂		1178302	410140		410140		257896	
Ar		72396	72396		72396		72270	

	2109	2110	2111	2112	2113			
T [C]	652	652	592	592	145			
[kg/시간]								
H ₂	41707		41707					
CH ₄	5268							
CO ₂	751989	751989						
CO								
H ₂ O	162220				162220			
N ₂				1012126				
O ₂				310303				
Ar				19065				

도면23

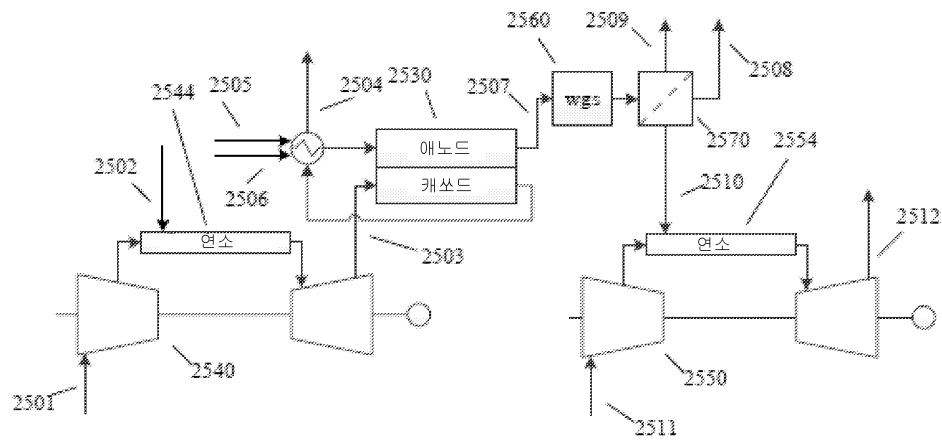


도면24

	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308
T [C]	30	10	150				30	
[kg/시간]								
H ₂								
CH ₄	63040						41299	0
CO ₂			173360			173360		173360
CO			0					
H ₂ O			126080			126080		126080
N ₂		442193	442193			442193		442193
O ₂		135570	9490			9490		9490
Ar		8330	8330			8330		8330

	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2317	2316
T [C]	652	652	592	592	145	30	30	30	10
[kg/시간]									
H ₂			0	10076	13623		13623		
CH ₄	41299		0	1721	1721				
CO ₂			36687	167585	245624	245624			
CO			0	49662					
H ₂ O		82637	107488	81365	109743			109743	
N ₂			1255367		0				330594
O ₂			84237		0				101365
Ar			23606						6227

도면25



도면26

경우	H ₂ 터빈 사용	제 1 터빈 으로의 재순환	H ₂ 터빈 사용	제 1 터빈 으로의 재순환	H ₂ 터빈 사용	제 1 터빈 으로의 재순환
연료 이용률(%)	75%	75%	50%	50%	30%	30%
증기 대 탄소 비	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
배기 가스 재순환(%)	35%	35%	35%	35%	35%	35%
수성 가스 전화 반응기	있음	있음	있음	있음	있음	있음
내부 개질(%)	20%	20%	20%	20%	20%	20%
MCFC CO ₂ 캐소드 입구 농도(%)	6.11%	5.72%	6.11%	5.12%	6.54%	4.53%
MCFC CO ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
MCFC O ₂ 캐소드 배기 가스 농도(%)	5.9%	6.2%	5.9%	6.6%	4.7%	6.5%
MCFC 전압(V)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
MCFC 전류 밀도 (A/m ²)	912	878	974	916	1197	1061
MCFC 면적 (k-m ²)	184	175	172	144	154	105
CO ₂ 포획(%)	82.0%	80.7%	83.5%	80.0%	83.8%	79.7%
CO ₂ 포획(M톤/년)	1.76	1.62	1.96	1.55	2.56	1.56
면적/포획된 톤(k-m ² *년/M톤)	104.1	108.0	87.9	93.1	60.3	67.6
CO ₂ 배출가스(캐소드 배기가스로부터, lb. CO ₂ /MWhr)	153.2	147.8	144.0	160.2	113.3	185.3
애노드 공급물중 비 H ₂ :변성가능한 C(물)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
애노드 공급물중 N ₂ (%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%
애노드 증기 패널티(MW)	5.2	4.8	7.8	6.2	14.4	8.7
H ₂ 또는 CO인 터빈 연료 %(LHV 기준)	0% / 100% *	6.6%	0% / 100% *	16.4%	0% / 95.4% *	34.5%
총 순 전력(MW)	589	610	624	571	791	502
전기 효율(%)	51.9%	57.7%	50.0%	55.4%	49.2%	48.7%

* 주 가스 터빈/H₂ 연소식 가스 터빈으로서 포맷됨