



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년07월03일
(11) 등록번호 10-0906204
(24) 등록일자 2009년06월29일

(51) Int. Cl.

H01M 8/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0087931
(22) 출원일자 2007년08월30일
심사청구일자 2007년08월30일
(65) 공개번호 10-2009-0022521
(43) 공개일자 2009년03월04일
(56) 선행기술조사문헌
JP16047438 A*
JP17026215 A*
JP18318715 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술연구원
서울 성북구 하월곡2동 39-1

(72) 발명자

하홍용
서울 노원구 상계동 현대2차아파트 202동 1408호
하대정
서울 강동구 길1동 375-411

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김 순 영, 김영철

전체 청구항 수 : 총 10 항

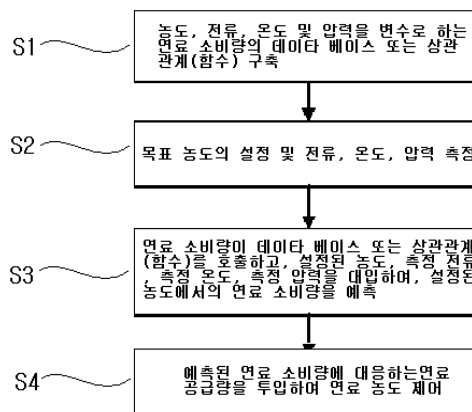
심사관 : 김영민

(54) 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치

(57) 요약

본 발명에서는 액체형 연료전지의 연료 소비량을 측정하고 이를 기초로 농도를 제어하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도 제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 센서 리스 농도 제어 방법은, 농도 센서를 사용하지 않기 때문에 연료 전지 시스템이 단순, 소형화되어 시스템 작동에 소모되는 전력이 절약되고, 시스템 자체의 가격도 낮출 수 있다. 특히, 농도 제어에 있어서, 촉매 피독에 의한 연료 전지의 자연적인 성능 저하에 영향을 받지 않고, 전극의 성능이 저하되거나, 운전조건 등이 변화되거나, 전기부하가 변화하는 동적 상태에서도 사용이 가능하며, 농도 제어의 오차범위가 크지 않아서 안정적인 연료 전지 운영을 보장할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김수길

서울 강서구 화곡동 963-21 삼성훼미리 타운 401호

한중훈

서울 서초구 서초동 1495-1 현대빌라트 602

김형준

경기 수원시 영통구 망포동 동수원엘지빌리지2차
201동 903호

임태훈

서울 송파구 문정동 150 웨밀리아파트 220-603호

오인환

서울 노원구 중계본동 신안동진아파트 101동 803호

남석우

서울 동대문구 이문2동 311 삼성래미안 2차 APT
104동 1604호

홍성안

서울 강남구 삼성동 78-4 청구아파트 102동 1301호

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

액체형 연료 전지의 연료 농도를 농도 센서 없이 제어하는 방법으로서,

상기 액체형 연료 전지의 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변경하면서, 연료 전지에서의 전류 발생시 필요한 연료 소비량 또는 소비 속도를 결정하고, 연료의 크로스오버에 의한 연료 소비량 또는 소비 속도를 결정하여, 이들의 합을 통해 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를 측정함으로써, 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변수로 하는 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 얻는 제 1-1 단계;

설정된 연료 농도 하에서 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력을 측정하고, 상기 설정된 연료 농도, 측정된 전류, 온도 및 압력을 상기 제 1-1 단계에서 얻어진 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계에 대입하여, 상기 설정된 연료 농도, 측정된 전류, 온도 및 압력에서의 연료 소비량 또는 소비 속도를 결정하는 제 1-2 단계; 및

상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도에 대응하여 상기 연료 전지에 공급되는 연료 공급량 또는 공급 속도를 조절함으로써, 상기 액체형 연료 전지의 연료 농도를 제어하는 제 2 단계;를 포함하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 전류 발생시 필요한 연료 소비량 또는 소비 속도를 상기 전류 측정값과 페러데이 상수를 이용하여 결정하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 연료의 크로스오버에 의한 연료 소비량 또는 소비 속도는 연료 전지의 캐소드로부터의 이산화탄소의 발생량 또는 발생 속도를 측정하여 결정하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 이산화탄소의 발생량 또는 발생 속도는 캐소드로부터의 기체의 방출량 또는 방출 속도 및 상기 캐소드로부터의 기체 중의 이산화탄소의 농도를 측정함으로써 결정하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

상기 캐소드로부터의 기체의 방출량 또는 방출 속도는 연료 전지에 공급하는 공기의 유량 또는 유속에서, 전류 발생으로 인하여 소비되는 산소의 유량 또는 유속을 차감하고, 연료의 크로스오버로 인하여 발생한 이산화탄소의 유량 또는 유속을 더한 후, 연료의 크로스오버로 인하여 소비된 산소의 유량 또는 유속을 차감함으로써 결정하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 8

제 3 항에 있어서,

상기 제 2 단계에서는, 상기 연료 전지에 농도 적정된 연료를 공급하는 연료 혼합기의 부피 또는 액위를 일정하게 한 상태에서, 상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도와 동일한 유량 또는 유속의 연료를 상기 연료 전지 혼합기에 공급하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 9

제 3 항에 있어서,

상기 액체형 연료는 메탄올, 에탄올, 포름산, 이소프로판올, 프로판올, 에틸렌글리콜, 디메틸에테르 및 부탄올로 이루어지는 그룹에서 선택된 하나 또는 둘 이상의 혼합 연료인 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

액체형 연료 전지의 연료 농도를 농도 센서 없이 제어하기 위한 농도 제어 장치로서,

설정된 연료 농도에서 상기 액체형 연료 전지의 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력을 측정하는 측정 장치에 연결되며,

상기 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변경하면서 연료 전지에서의 전류 발생시 필요한 연료 소비량 또는 소비 속도와 연료의 크로스오버에 의한 연료 소비량 또는 소비 속도의 합을 측정함으로써, 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력, 연료 농도를 변수로 하는 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 추적하는 제 1 처리부;

상기 제 1 처리부로부터 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 호출하고, 상기 설정된 농도, 상기 측정 장치로부터 입력된 전류, 온도 및 압력을 상기 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계에 대입함으로써, 상기 설정된 농도에서의 연료 소비량을 결정하는 제 2 처리부;를 포함하는 프로세서; 및

상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도에 대응하여 연료 공급량 또는 공급 속도에 관한 제어 신호를 상기 액체형 연료 전지의 연료 공급 부로 송출하는 제어부;를 포함하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 장치.

청구항 12

연료 공급 부;

상기 연료 공급 부에 연결된 액체형 연료 전지; 및

상기 연료 공급 부 및 상기 액체형 연료 전지에 각각 연결된 제 11 항에 의한 농도 제어 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 액체형 연료 전지 장치.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 연료 공급 부는,

상기 연료 원액을 저장하는 연료 원액 카트리지;

상기 연료 원액 카트리지로부터 연료 원액을 공급받고 농도 적정된 연료를 상기 액체형 연료 전지에 공급하는 연료 혼합기; 및

상기 연료 원액 카트리지로부터 상기 연료 원액을 상기 연료 혼합기로 공급하는 펌프;를 포함하고,

상기 농도 제어 장치는 상기 연료 공급 부의 펌프에 연결되는 것을 특징으로 하는 액체형 연료 전지 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

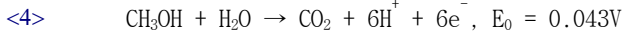
<1> 본 발명은 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도 제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치에 관한 것으로서, 상세하게는 연료를 공급하는 연료 순환 계통에서 연료의 농도를 제어함에 있어서, 연료의 농도를 측정하는 농도 센서를 사용하지 않고, 연료 전지의 운전 조건 특히 설정된 연료 농도에서의 연료 전지의 온도와 압력 및 출력 전류를 이용하여 연료의 소비량을 예측하고, 이를 근거로 연료 공급 부에서 연료 공급량을 조절함으로써 연료의 농도를 일정하게 유지하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도 제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치에 관한 것이다.

배경 기술

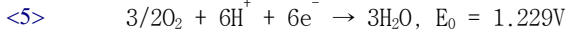
<2> 액체형 연료 전지는 메탄올, 에탄올, 포름산, 이소프로판올, 프로판올, 에틸렌글리콜, 디메틸에테르, 부탄올의 단독 또는 2 개 이상의 혼합 연료와 산소의 산화 환원 반응을 이용하여 반응물의 화학 에너지를 직접 전기 에너지로 변환 시키는 장치로서, 연료의 에너지 밀도가 높고, 충전 시간이 필요하지 않아서 미래의 소형 이동용 전원으로 적합하다.

<3> 아래 반응식 1 내지 3은 각각 액체형 연료 전지 중에서 메탄올을 연료로 사용하는 직접 메탄올 연료 전지의 애노드(anode) 반응식, 캐소드(cathode) 반응식, 및 전체 반응식을 나타낸 것이다.

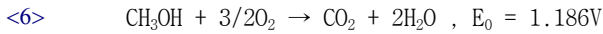
반응식 1



반응식 2



반응식 3



<7> 위 반응식과 같이, 직접 메탄올 연료 전지의 경우 전해질을 사이에 두고 양 전극에서 각각 메탄올 산화반응과 산소의 환원반응이 일어나며, 반응 결과 생성되는 수소 이온이 전해질을 통해 애노드에서 캐소드 측으로 이동하고, 전자는 외부 전기회로로 이동한다. 외부 전기회로로 이동하는 전자에 의해서 전자 제품을 작동시킬 수 있는 전력이 발생한다.

<8> 이와 같은 직접 메탄올 연료 전지를 포함한 액체형 연료 전지에 있어서 공급되는 연료의 농도는 연료 전지 성능 및 연료의 사용 효율에 영향을 준다.

<9> 한편, 액체형 연료는 전해질 막을 관통하여 애노드에서 캐소드로 이동하는 크로스오버 현상이 발생하고, 연료의 크로스오버는 연료 전지의 성능 저하, 연료의 사용효율 감소 등 다양한 문제를 야기한다.

<10> 이러한 크로스오버 현상은 연료의 농도에 따라 비례한다. 예를 들어, 직접 메탄올 연료 전지의 경우 일반적으로 연료의 크로스오버를 줄이기 위해서 2M 이하의 낮은 농도로 연료를 공급한다.

<11> 그런데, 연료를 희석된 용액 형태로 액체형 연료 전지 시스템 내부에서 저장 및 사용할 경우, 연료 전지 시스템 전체의 에너지 밀도(단위부피당)는 매우 낮아서 휴대용 고밀도 에너지 장치로서의 장점을 상실하게 된다.

<12> 따라서, 낮은 농도의 연료를 공급하면서도 시스템에서의 에너지 밀도를 높이기 위해서 연료를 재순환하여 사용한다.

<13> 연료의 재순환은 연료 전지에서 방출되는 미반응 연료를 외부로 방출하지 않고, 연료를 보충하여 농도를 맞추

다음 연료 전지 시스템으로 다시 공급하여 사용하는 방법이다.

- <14> 즉, 연료가 포함된 반응 용액을 연료 전지 스택에 공급하게 되면, 연료 전지 스택에서는 반응에 의해 연료가 소비되고, 반응용액 내의 연료농도는 감소하게 된다. 따라서, 연료의 농도를 원하는 수준으로 유지하려면 고농도의 연료를 순환 계통에 주입하여 농도를 조절해주어야 한다.
- <15> 이를 위해 연료 전지 시스템에서는 연료 혼합 장치에 고농도의 연료를 주입하여 순환용액과 섞음으로써 반응 용액 내의 연료의 농도를 일정하게 맞춘 다음 이 용액을 연료 전지로 주입한다.
- <16> 참고로, 기존에 사용되고 있는 대표적인 연료농도 제어 방법으로는 피드백 제어 방법이 있다.
- <17> 상기 피드백 제어 방법은 농도 센서를 사용하여 순환 계통 내의 연료농도를 측정하고, 농도 변화를 관찰하면서 연료의 농도를 일정하게 유지시키는 데 필요한 연료 원액의 주입량을 계산하여 공급함으로써, 반응용액 내의 연료의 농도를 제어하는 방법을 말한다.
- <18> 그런데, 기존의 농도 제어 방법은 위와 같이 연료 전지로 공급되는 연료의 농도를 측정할 수 있는 농도 센서를 부착해야 하며, 센서에서 연료의 농도를 측정할 수 있도록 연료 순환 계통 내부에 별도의 시료 이송용 배관과 펌프가 필요하다.
- <19> 이로 인해 시스템의 복잡성이 증가하여 소형화가 어려워지며, 센서와 해당 펌프에 사용되는 전력 소비량이 증가하여 연료 전지 시스템의 에너지 효율이 감소하는 단점들이 있다.
- <20> 더욱이, 현재 개발된 농도 센서들은 다른 물리량을 측정하는 센서들에 비해 높은 가격대를 형성하고 있어서 이를 연료 전지 시스템에 적용할 경우 연료 전지 시스템의 제작 단가가 상승하여 휴대용 전원 장치로서의 가격 경쟁력을 유지하기가 어렵다는 문제가 있다.
- <21> 이와 같은 문제를 해결하고자 전기화학적 반응을 이용한 농도 센서를 개발하기 위한 연구들이 진행되어 왔다.
- <22> 전기화학적 반응을 이용한 농도 센서는 기존의 농도 센서보다 낮은 가격으로 제작이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 센서 내부의 촉매가 활성을 잃으면서 측정의 재현성이 낮아진다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <23> 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은, 농도 센서를 사용하지 않기 때문에 연료 전지 시스템이 단순, 소형화되어 시스템 작동에 소모되는 전력을 절약하고 시스템 자체의 가격도 낮출 수 있는 연료 전지의 센서리스 농도 제어로서, 특히 농도 제어 시 촉매 피독에 의한 연료 전지의 자연적인 성능 저하에 영향을 받지 않고, 전극의 성능이 저하되거나, 운전조건 등이 변화되거나, 전기부하가 변화하는 동적 상태에서도 사용이 가능하며, 농도 제어의 오차범위가 크지 않아서 안정적인 연료 전지 운전을 보장할 수 있는, 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도 제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- <24> 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에서는, 액체형 연료 전지의 연료 농도를 농도 센서 없이 제어하는 방법으로서, 상기 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를, 연료 농도를 포함하는 운전 조건을 변경하면서 측정하고, 측정된 연료 소비량 또는 소비 속도로부터 설정된 연료 농도에서의 연료의 소비량 또는 소비 속도를 결정하는 제 1 단계; 및 상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도에 대응하여 상기 연료 전지에 공급되는 연료 공급량 또는 공급 속도를 조절함으로써, 상기 액체형 연료 전지의 연료 농도를 제어하는 제 2 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 방법을 제공한다.
- <25> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제 1 단계에서는, 상기 연료 소비량 또는 소비 속도를 연료 전지에서의 전류 발생시 필요한 연료 소비량 또는 소비 속도; 및 연료의 크로스오버에 의한 연료 소비량 또는 소비 속도;의 합으로 결정한다.
- <26> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제 1 단계는, 상기 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변경하면서 측정함으로써, 상기 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변수로 하는 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를

연는 제 1-1 단계; 및 설정된 연료 농도 하에서 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력을 측정하고, 상기 설정된 연료 농도, 측정된 전류, 온도 및 압력을 상기 제 1-1 단계에서 얻어진 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계에 대입하여, 상기 설정된 연료 농도, 측정된 전류, 온도 및 압력에서의 연료 소비량 또는 소비 속도를 결정하는 제 1-2 단계;로 이루어진다.

- <27> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 전류 발생시 필요한 연료 소비량 또는 소비 속도를 상기 전류 측정값과 패러데이 상수를 이용하여 결정한다.
- <28> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 연료의 크로스오버에 의한 연료 소비량 또는 소비 속도는 연료 전지의 캐소드로부터의 이산화탄소의 발생량 또는 발생 속도를 측정하여 결정한다.
- <29> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 이산화탄소의 발생량 또는 발생 속도는 캐소드로부터의 기체의 방출량 또는 방출 속도 및 상기 캐소드로부터의 기체 중의 이산화탄소의 농도를 측정함으로써 결정한다.
- <30> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 캐소드로부터의 기체의 방출량 또는 방출 속도는 연료 전지에 공급하는 공기의 유량 또는 유속에서, 전류 발생으로 인하여 소비되는 산소의 유량 또는 유속을 차감하고, 연료의 크로스오버로 인하여 발생한 이산화탄소의 유량 또는 유속을 더한 후, 연료의 크로스오버로 인하여 소비된 산소의 유량 또는 유속을 차감함으로써 결정한다.
- <31> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제 2 단계에서는, 상기 연료 전지에 농도 적정된 연료를 공급하는 연료 혼합기의 부피 또는 액위를 일정하게 한 상태에서, 상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도와 동일한 유량 또는 유속의 연료를 상기 연료 전지 혼합기에 공급한다.
- <32> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 액체형 연료는 메탄올, 에탄올, 포름산, 이소프로판올, 프로판올, 에틸렌글리콜, 디메틸에테르 및 부탄올로 이루어지는 그룹에서 선택된 하나 또는 둘 이상의 혼합 연료이다.
- <33> 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에서는, 액체형 연료 전지의 연료 농도를 농도 센서 없이 제어하기 위한 농도 제어 장치로서, 상기 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를 연료 농도를 포함하는 운전 조건을 변경하면서 측정함으로써 얻어진 연료 소비량 또는 소비 속도로부터, 설정된 연료 농도에서의 연료의 소비량 또는 소비 속도를 결정하는 프로세서; 및 상기 결정된 연료의 소비량 또는 소비 속도에 대응하여 연료 공급량 또는 공급 속도에 관한 제어 신호를 상기 액체형 연료 전지의 연료 공급부로 송출하는 제어부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 농도 제어 장치를 제공한다.
- <34> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 프로세서는, 설정된 연료 농도에서 상기 액체형 연료 전지의 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력을 측정하는 측정 장치에 연결되며, 상기 액체형 연료 전지의 연료 소비량 또는 소비 속도를 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력 및 연료 농도를 변경하면서 측정함으로써 얻어진, 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력, 연료 농도를 변수로 하는 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 축적하는 제 1 처리부; 및 상기 제 1 처리부로부터 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 호출하고, 상기 설정된 농도, 상기 측정 장치로부터 입력된 전류, 온도 및 압력을 상기 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계에 대입함으로써, 상기 설정된 농도에서의 연료 소비량을 결정하는 제 2 처리부;를 포함한다.
- <35> 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에서는, 연료 공급부; 상기 연료 공급부에 연결된 액체형 연료 전지; 및 상기 연료 공급부 및 상기 액체형 연료 전지에 각각 연결된 상기한 농도 제어 장치;를 포함하는 것을 특징으로 하는 액체형 연료 전지 장치를 제공한다.
- <36> 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 연료 공급부는, 상기 연료 원액을 저장하는 연료 원액 카트리지; 상기 연료 원액 카트리지로부터 연료 원액을 공급받고 농도 적정된 연료를 상기 액체형 연료 전지에 공급하는 연료 혼합기; 및 상기 연료 원액 카트리지로부터 상기 연료 원액을 상기 연료 혼합기로 공급하는 펌프;를 포함하고, 상기 농도 제어 장치는 상기 연료 공급부의 펌프에 연결된다.

효 과

- <37> 본 발명에 따른 센서리스 농도 제어 방법은, 농도 센서를 사용하지 않기 때문에 연료 전지 시스템이 단순, 소형화되어 시스템 작동에 소모되는 전력이 절감되고, 시스템 자체의 가격도 낮출 수 있다. 특히, 농도 제어에 있어서, 촉매 피독에 의한 연료 전지의 자연적인 성능 저하에 영향을 받지 않고, 전극의 성능이 저하되거나, 운전 조건 등이 변화되거나, 전기부하가 변화하는 동적 상태에서도 사용이 가능하며, 농도 제어의 오차범위가 크지

않아서 안정적인 연료 전지 운영을 보장할 수 있는 연료 전지의 센서 리스 농도 제어를 구현할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <38> 이하, 본 발명에 따른 농도 센서를 사용하지 않는 액체형 연료 전지의 연료 농도 제어 방법 및 장치, 이를 이용한 액체형 연료 전지 장치를 상세하게 설명한다.
- <39> 본 발명에 있어서, 연료의 원액은 반드시 100% 농도의 원액뿐만 아니라 희석이 필요한 정도의 고농도의 연료를 포함하는 의미로 사용된다.
- <40> 일정한 운전 조건에서의 연료 소비량은 해당되는 운전 조건과 서로 명확한 상관 관계를 가지면서도, 연료 전지 전극의 성능 저하와는 무관하게 항상 일정하므로, 연료 소비량을 측정하고 이를 농도 제어의 기초로 활용할 수 있다.
- <41> 본 발명에서는 위와 같은 점에 근거하여 농도 센서 없이 액체형 연료 전지의 농도 제어를 수행하는 방법으로서 특히 연료 소비량을 측정하고 이를 기초로 연료 농도 제어를 수행한다.
- <42> 도 1은 본 발명의 실시예에 있어서, 연료 소비량 예측에 기반한 연료의 공급량 결정과 이에 따른 농도 제어의 처리 과정을 보여주는 흐름도이다.
- <43> 도 1을 참조하면, 우선, 다양한 운전 조건 하에서 농도에 따른 연료 소비량을 측정하고, 이를 기초로 특히 농도, 전류, 온도 및 압력을 변수로 하는 연료 소비량의 데이터 베이스 또는 상관관계(함수)를 얻는다(S1).
- <44> 구체적으로, 연료의 소비량은 전류 발생 시 연료 전지에서 소모되는 연료 소비량 및 액체형 연료가 전해질을 크로스오버 하는 것에 의한 연료 소비량으로 구분할 수 있다. 이는 다음 식에 의하여 표현된다.

수학식 1

- <45>
$$N_{m,t} = N_{m,e} + N_{m,x}$$
- <46> [$N_{m,t}$: 단위 시간당 연료 소비량, $N_{m,e}$: 전류 발생 시 단위 시간당 연료 소비량, $N_{m,x}$: 크로스오버에 따른 단위 시간당 연료 소비량]
- <47> 상기 전류 발생 시의 단위 시간당 연료 소비량은 전류의 크기에만 의존하며 그 외 다른 운전 조건과는 무관하다. 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 2

- <48>
$$N_{m,e} = f(I) = I/6F$$
- <49> [$N_{m,e}$: 전류 발생 시 단위 시간당 연료 소비량, I : 전류, F: 패러데이 상수]
- <50> 상기 크로스오버에 의한 연료의 소비량은 다양한 운전 조건 즉, 연료 전지의 출력 전류나 전압, 연료 전지의 내부의 온도 및 압력, 연료 전지 주변의 온도 및 압력, 공급되는 연료의 유량 및 온도, 공급되는 공기의 유량 및 온도, 연료의 농도 및 유속 등에 의하여 달라진다. 참고로, 연료 전지의 주변의 온도 및 압력, 공급 연료의 온도, 공급 공기의 온도는 결국 연료 전지의 내부의 온도 및 압력으로 반영이 된다. 또한, 상기 크로스오버에 의한 연료의 소비량은 연료 전지의 구조적 특징 즉, 연료 전지의 크기와 형태, 사용한 막-전극 결합체의 종류와 크기, 전극에 사용한 촉매의 종류, 전극의 종류, 사용한 전해질 막의 종류 등에 따라서도 변할 수 있다.
- <51> 그러나, 연료 농도 제어를 원하는 동일한 연료 전지에 있어서 연료 전지의 크기와 형태 등 연료 전지의 구조적 특성은 일정하므로, 크로스오버에 의한 연료의 소비량은 운전 조건에 의존하며 특히 다음 식으로 표현될 수 있다.

수학식 3

- <52>
$$N_{m,x} = f(I, T, C, Fa, Fc, P)$$
- <53> [$N_{m,x}$: 크로스오버에 따른 단위 시간당 연료 소비량, I : 출력 전류, T : 연료 전지 내부의 온도, C : 연료 농도, Fa : 공급되는 연료의 양, Fc : 공급되는 공기의 양, P : 연료 전지 내부의 압력]

<54> 그런데, 일반적으로 액체형 연료 전지는 고정된 연료 및 공기 공급량, 상압 조건에서 작동한다. 따라서, 결국 농도 제어를 원하는 액체형 연료 전지 시스템에 있어서, 연료의 크로스오버에 영향을 주는 운전 조건은 출력 전류와 연료 전지 내부의 온도, 연료 농도의 3개의 변수로 귀결된다. 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 4

<55> $N_{m,x} = f(I, T, C)$

<56> [$N_{m,x}$: 크로스오버에 따른 단위 시간당 연료 소비량, I : 출력 전류, T : 연료 전지 내부의 온도, C : 연료 농도]

<57> 한편, 연료 전지가 가압 조건에서 작동할 경우 다음 식과 같이 압력이 포함된 4개의 변수가 적용된다.

수학식 5

<58> $N_{m,x} = f(I, T, C, P)$

<59> [$N_{m,x}$: 크로스오버에 따른 단위 시간당 연료 소비량, I : 출력 전류, T : 연료 전지 내부의 온도, C : 연료 농도, P : 연료 전지의 내부 압력]

<60> 이상의 내용을 정리하면, 상압 조건에서의 크로스오버에 의한 연료의 소비량은 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도, 연료의 농도의 3가지 변수에 의해서 결정되고, 전류 발생시 소모되는 연료의 소비량은 전류(출력 전류)만으로 정할 수 있는 것이므로, 결국, 연료의 소비량도, 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도, 연료 농도에 따라서 결정된다. 그리고, 가압 조건인 경우 여기에 압력 변수가 추가된다.

<61> 그러므로, 출력 전류, 연료 전지 내부의 온도와 압력, 연료 농도에 따라서 연료의 소비량을 사전에 측정하여 연료의 소비량에 관한 데이터 베이스 내지 상관 관계(함수)를 얻을 수 있고, 이를 이후 연료 소비량 예측의 기초로 활용할 수 있다.

<62> 여기서, 전류 발생시 소모되는 연료의 소비량은 전류(출력 전류)만으로 정할 수 있는 것이므로 상기 연료의 소비량은 곧 크로스오버에 의한 연료의 소비량을 측정하면 정해지는데, 상기 크로스오버에 의한 연료의 소비량 측정은, 크로스오버된 연료가 캐소드 표면에서 공기 중의 산소와 반응하여 이산화탄소가 되므로, 하기 실험예와 같이, 캐소드로부터 방출되는 기체에 포함되어 있는 이산화탄소의 양을 측정함으로써 결정할 수 있다.

<63> 도 1을 다시 참조하면, 위와 같이 S1 단계에서 연료 소비량의 데이터 베이스 또는 상관관계(함수)를 결정한 후, 다음으로, 목표 농도를 설정하고, 설정 농도에서 출력 전류 측정 장치와 연료 전지 내부의 온도, 압력 측정 장치를 이용하여 각각의 전류, 온도 및 압력을 측정하도록 한다(S2).

<64> 다음으로, 위와 같이 얻어진 연료 소비량의 데이터 베이스 또는 상관관계(함수)를 호출하고, 상기 호출된 데이터 베이스 또는 상관관계(함수)에, 설정 농도, 출력 전류 및 연료 전지 내부의 온도 및 압력을 대입함으로써, 설정 농도에서의 연료 소비량을 예측할 수 있다(S3).

<65> 다음으로, 상기 예측 소비량에 대응하여 연료를 공급함으로써 연료 농도를 제어한다(S4).

<66> 이에 대하여 상술하면, 연료 전지 시스템의 연료의 농도와 부피는 초기 상태에서의 농도 및 부피에 단위시간당 발생하는 변화 누적을 더한 것에 의해서 결정된다. 이는 다음 식에 의하여 표현된다.

수학식 6

$$V \times C = V_i \times C_i + \int \partial(V \times C) / \partial t dt$$

<67>

<68> [V : 연료 부피, C : 연료 농도, V_i : 초기 연료 부피, C_i : 초기 연료 농도, t : 시간]

<69> 그런데, 연료 혼합기 내의 수위를 일정하게 함으로써 그 부피를 일정하게 유지하여 준다면, 즉, $V=V_i$ 가 되도록 하면, 시간에 따라 변화하는 것은 농도뿐이다. 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 7

$$\partial(V \times C) / \partial t = V \partial C / \partial t$$

<70>

<71> [V : 연료 부피, C : 연료 농도, t : 시간]

<72> 상기 연료 농도는 초기 농도와 단위 시간당 발생하는 농도 변화의 누적에 의존한다. 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 8

$$C = C_i + \int \partial C / \partial t dt$$

<73>

<74> [C : 연료 농도, Ci : 초기 연료 농도, t : 시간]

<75> 상기 단위 시간당 발생하는 농도 변화는 단위 시간당 소비되는 연료와 공급되는 연료에 의해서 결정되는데, 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 9

$$\partial C / \partial t = (N_{m,f} - N_{m,t}) / V$$

<76>

<77> [N_{m,f} : 단위 시간당 공급되는 연료의 양, N_{m,t} : 단위 시간당 연료 소비량]

<78> 여기서, 연료 공급 펌프에 의한 연료의 공급량과 목표로 설정된 농도에서의 연료의 소비량을 일치시키면, 위 [수학식 9]에서 N_{m,f} = N_{m,t}로 되므로, 단위 시간당 농도 변화는 더 이상 발생하지 않는다. 이는 다음 식으로 표현된다.

수학식 10

$$\partial C / \partial t = 0$$

<79>

<80> 상기 [수학식 10]을 [수학식 8]에 대입하면, C=C_i가 되므로, 설정 농도(C)를 초기 농도(C_i)로 유지할 수 있고, 나아가, 초기 농도(C_i)가 설정 농도(C)와 대비하여 높거나 낮은 경우라도, 연료 공급 양의 조절에 의하여 연료 전지 시스템에서의 연료 순환 공급 계의 연료 농도는 설정 농도로 수렴하는 방향으로 변하게 되므로, 농도 제어가 가능해지는 것이다.

<81> 한편, 본 발명에 따른 장치는 크게 연료 공급 부, 상기 연료 공급 부에 연결된 액체형 연료 전지 및 상기 연료 공급 부 및 상기 액체형 연료 전지에 각각 연결된 상기한 바와 같이 농도 제어를 수행하는 농도 제어 장치를 포함한다.

<82> 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 연료 전지 장치를 연료 순환 공급 계통과 함께 보여주는 개략도이다.

<83> 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 연료 전지 장치는 연료 혼합기(20)로부터 연료 순환 펌프(31)를 통하여 연료 전지 스택(40)으로 연료가 공급된다. 또한, 상기 연료 전지 스택(40)에는 공기 공급 펌프(32)로부터 공기가 공급된다.

<84> 상기 연료 혼합기(20)는 연료 원액 카트리리지(10)로부터 연료 원액 공급 펌프(12)를 통하여 연료 원액을 공급받는다. 여기서, 상기 연료 원액 카트리리지(10)는 결합부(11)에 의하여 이후의 연료 순환 계통과 결합 된다.

<85> 또한, 상기 연료 혼합기(20)는 물공급 펌프(34)로부터 물을 공급받으며, 상기 물공급 펌프(34)는 상기 연료 전지 스택(40)으로부터의 물 회수 장치(33)에 연결된다.

<86> 상기 연료 혼합기(20)에는 혼합 연료의 부피를 측정하기 위하여 장치 내의 혼합 연료의 수위를 측정하는 액위 측정 장치(22)가 장착되어 있다.

<87> 상기 연료 전지 스택(40)으로부터 방출된 기체(이산화탄소 등)는 순환 계통 냉각 장치(30)를 거쳐서 상기 연료 혼합기(20)로 유입되고, 상기 연료 혼합기(20)에 장착된 방출 기체 배출부(21)를 통하여 유출된다.

- <88> 상기 연료 전지 스택(40)에는 온도 및 압력 측정 장치(41) 및 출력 전류 측정 장치(42)가 각각 장착되어 운전 조건에서의 온도 및 출력 전류를 측정한다.
- <89> 상기 온도 및 압력 측정 장치(41) 및 출력 전류 측정 장치(42)는 농도 제어 장치(P)에 연결되어 있다.
- <90> 상기 농도 제어 장치(P)는 프로세서와 연료 공급량 또는 공급 속도에 관한 제어 신호를 연료 원액 공급 펌프(12)로 송출하는 제어부로 이루어져 있다.
- <91> 상기 프로세서는 다양한 운전 조건 하에서 설정 농도에 따른 연료 소비량 측정값을 기초로 얻어진 특히 농도, 출력 전류 및 연료 전지 내부의 온도, 압력을 변수로 하는 연료 소비량에 대한 데이터 베이스 및 상관관계(함수)를 축적하는 제 1 처리부와, 상기 제 1 처리부로부터 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계를 호출하고, 상기 설정된 농도, 상기 측정 장치로부터 입력된 출력 전류 및 연료 전지 내부의 온도와 압력을 상기 연료 소비량 또는 소비 속도의 데이터 베이스 또는 상관관계에 대입함으로써, 상기 설정된 농도에서의 연료 소비량을 결정하는 제 2 처리부로 구성된다.
- <92> [실험예]
- <93> 메탄올을 연료로 하는 단위전지를 사용하여 실험을 수행하였다. 상기 단위 전지는 인위적으로 온도 조절이 가능한 것을 사용하였다. 참고로, 상기 단위 전지에서, 전극 면적은 138cm^2 이었고, 전해질 막으로는 듀폰사의 나피온 115를 사용하였다. 애노드 전극 촉매로는 Pt-Ru 6 mg/cm^2 을 사용하였고, 캐소드 전극 촉매로는 Pt 4 mg/cm^2 을 사용하였다. 평행한 곡사형(parallel serpentine) 타입의 유로를 사용하였고, 연료 공급 유량은 9.23 ml/min 으로 하였으며, 공기 공급 유량은 1170 ml/min (건조 공기)로 하였다.
- <94> 먼저, 전류와 온도에 따른 연료 소비량 예측을 위하여 전류와 온도가 유지되는 운전 조건에서 연료 전지를 구동하여 연료 소비량을 측정하였다.
- <95> 앞서 설명한 바와 같이, 전류 발생 시의 연료 소비는 전류량을 통해서 파악하였고, 또한, 크로스오버에 의한 연료의 소비는 캐소드에서 방출되는 기체에 포함되어 있는 이산화탄소의 양으로 측정 가능하였다.
- <96> 상기 이산화탄소의 양은 방출되는 기체의 유량과 이산화탄소의 농도를 측정하여 계산하였다. 즉, 상기 방출되는 기체의 유량은 공급하는 기체 (산소 + 질소)의 유량을 측정한 후, 이 측정값에서 전류 발생 시의 산소 소비량을 차감하고, 크로스오버에 의한 산소 소비량을 차감하고, 크로스오버에 의한 이산화탄소 발생량을 더하여 계산하였다. 여기서, 질소와 산소가 확산에 의해 캐소드 극에서 전해질 막을 관통하여 애노드 극으로 이동하는 양은 미미하므로 무시하였다.
- <97> 메탄올을 연료로 하는 연료 전지의 경우 크로스오버에 의한 이산화탄소 발생량은 다음과 같이 계산된다. 먼저, 메탄올을 연료로 사용하는 경우에 크로스오버 반응은 다음 반응식과 같다.

반응식 4

- <98> $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{ O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- <99> 상기 반응식으로부터 알 수 있듯이, 한 개의 이산화탄소가 발생하면 1.5개의 산소가 소비된다. 모든 기체를 이상 기체로 가정하면, 메탄올 크로스오버로 인하여 소비된 산소의 양은 $1.5 \times$ 메탄올 크로스오버로 인하여 발생한 이산화탄소의 양($N_{m-\text{CO}_2}$)이 되고, 상기 메탄올 크로스오버로 인하여 발생한 이산화탄소의 양($N_{m-\text{CO}_2}$)이 곧 연료인 메탄올의 크로스오버에 의한 소비량이 된다.
- <100> 방출되는 전체 기체 량(N_{total})은 공급된 산소량(F_{O_2})에 공급된 질소량(F_{N_2})을 더한 후, 전류 발생으로 인하여 소비된 산소량($I/4F$; I는 전류이고, F는 패러데이 상수이다)을 차감한 후, $0.5 \times$ 메탄올 크로스오버로 인한 이산화탄소 발생량($N_{m-\text{CO}_2}$)[메탄올 크로스오버에 의한 산소 소비량($=1.5 \times$ 메탄올 크로스오버로 인한 이산화탄소 발생량)-메탄올 크로스오버에 의한 이산화탄소 발생량]을 차감하여 구한다.
- <101> 따라서, 방출되는 전체 기체 량(N_{total})에 대한 메탄올 크로스오버에 의한 이산화탄소의 발생량($N_{m-\text{CO}_2}$)의 비율(X_{CO_2})은 곧 다음 식으로 표현된다.

수학식 11

$$X_{CO_2} = N_{m-CO_2} / (F_{O_2} + F_{N_2} - I/4 F \times 60 - 0.5 \times N_{m-CO_2})$$

<102>

<103>

[N_{m-CO_2} : 연료 전지에서 방출되는 이산화탄소의 유량 (단위 : mol/min), X_{CO_2} : 연료 전지에서 방출되는 기체 중 이산화탄소의 부피 분율, F_{O_2} : 공급된 산소의 유량(단위 : mol/min), F_{N_2} : 공급된 질소의 유량(단위 : mol/min), I : 전류(단위 : C/sec; 여기서는, 메탄올 크로스 오버에 대한 영향을 알아보기 위하여 인가 전류 값으로 함), F : 패러데이 상수(단위 : C/mol)]

<104>

위 식을 메탄올 크로스오버에 의한 이산화탄소의 발생량(N_{m-CO_2})에 대하여 표현하면 다음의 식이 된다.

수학식 12

$$N_{m-CO_2} = X_{CO_2} (F_{O_2} - I/4 F \times 60 + F_{N_2}) / (0.5 \times X_{CO_2} + 1)$$

<105>

<106>

앞서 설명한 바와 같이, 전류 발생 시의 연료 소비량($I/6F$)과 이산화탄소 측정으로 얻은 크로스오버에 의한 연료 소비량의 합이 전체 연료 소비량이 된다.

<107>

각각의 전류와 온도에서의 전체 연료 소비량 측정을 통해서 운전 조건 변화에 따른 연료 소비량의 데이터를 확보하고 상관 관계를 확인하였다.

<108>

도 3은 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서 출력 전류와 연료 전지 내부의 온도, 연료 농도에 따른 연료의 소비량을 측정한 자료이다. 참고로, 도 3에서 온도는 40℃, 60℃, 80℃로 하였고, 농도는 0.4 몰, 0.8 몰, 1.2 몰로 하였으며, 출력 전류는 0A에서 시작하여 4A씩 증가시키며 전압 0.4 V이하 도달시 정지하였다.

<109>

도 3을 참조하면, 대부분 경우에 출력 전류 증가에 따라서 연료인 메탄올 소비량이 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 즉, 이 결과에 기초하여 설정 농도 및 주어진 전류와 온도에서 연료인 메탄올의 소비량을 결정할 수 있다.

<110>

한편, 본 발명에 따르면, 초기 농도와 목표 농도가 동일한 경우 농도 유지뿐만 아니라 초기 농도에서 오차 발생 시 목표 농도로의 수렴도 가능하게 된다.

<111>

즉, 본 발명에 따른 농도 제어에서는 실제 농도가 목표 농도라고 가정하고, 그 조건에서의 메탄올 소비량을 계산한다. 따라서 초기 농도가 목표 농도보다 낮을 때에는 농도 유지에 필요한 것보다 많은 양의 메탄올이 공급된다. 반대로 초기 농도가 목표 농도보다 높을 때는 농도 유지에 필요한 것보다 적은 양의 메탄올이 공급된다. 결국 초기 농도가 목표 농도에서 벗어나 있어도 실제 농도는 점점 목표 값으로 수렴하게 된다.

<112>

도 4는 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서 개회로 상태에서 연료의 농도가 목표 농도에 도달하는 것을 보여주는 그래프이다. 참고로, 도 4에 있어서, 온도는 60℃로 하였고, 설정 농도는 0.8 몰로 하였으며, 초기 농도는 0.6 몰로 하였다.

<113>

도 4를 참조하면, 시작 농도가 0.6M인 상태에서 연료의 농도가 설정 농도인 0.8 M로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

<114>

도 5는 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서 연료의 설정 농도를 0.4M로 하였을 때, 출력 전류의 크기가 0 mA/cm²에서 110 mA/cm²까지 변하는 조건에서 연료의 농도가 유지되는 것을 보여주는 그래프이다. 참고로, 도 5에 있어서, 온도는 60℃로 하였고, 설정 농도는 0.4 몰로 하였다.

<115>

도 5를 참조하면, 설정 농도 0.4M에서는 농도 제어에 의해서 연료 원액과 물이 공급되면서 농도는 설정 값 근처에서 요동하였다. 출력 전류가 증가할수록 실제 농도가 설정 농도보다 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 출력 전류 밀도 100 mA/cm²에서는 0.52M까지 증가하였다. 도 5의 그래프 중 확대 그래프를 통해서 보면 연료 농도의 급격한 감소는 연료 혼합 용기의 수위 유지를 위한 물공급에 의한 것임을 알 수 있다. 낮아진 농도는 물공급이 중지된 이후에 점차 높아졌다.

<116> 도 6은 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서 연료의 설정 농도를 0.8M로 하였을 때, 출력 전류의 크기가 0 mA/cm²에서 110 mA/cm²까지 변하는 조건에서 연료의 농도가 유지되는 것을 보여주는 그래프이다. 참고로, 도 6에 있어서, 온도는 60℃로 하였고, 설정 농도는 0.8 몰로 하였다.

<117> 도 6을 참조하면, 설정 농도 0.8 M에서도 변화의 경향성은 도 5의 0.4M 실험에서와 거의 비슷하였으며, 요동의 크기만 좀 더 컸다. 이 경우에도 마찬가지로 전류가 증가할수록 설정 농도보다 높은 농도를 유지하였으며, 전류 밀도 110 mA/cm²에서 농도는 1.0M까지 증가하였다.

<118> 이상의 결과로부터 본 발명의 센서 리스 농도 제어에 의해서 연료의 농도는 연료 전지 운전에 따라서 만족스러운 수준에서 유지되는 것을 확인할 수 있었고, 특히 출력 전류가 증가할수록 설정 농도와 실제 농도의 오차는 증가하였지만, 오차의 크기는 최대 20%를 넘지 않으면서 농도가 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

도면의 간단한 설명

<119> 도 1은 본 발명의 실시예에 있어서, 연료 소비량 예측에 기반한 연료의 공급량 결정과 이에 따른 농도 제어의 처리 과정을 보여주는 흐름도이다.

<120> 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 연료 전지 장치를 그 연료 순환 계통과 함께 보여주는 개략도이다.

<121> 도 3은 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서, 출력 전류와 연료 전지 내부의 온도, 연료 농도에 따른 연료의 소비량을 측정한 자료이다.

<122> 도 4는 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서, 개회로 상태에서 연료의 농도가 목표 농도에 도달하는 것을 보여주는 그래프이다.

<123> 도 5는 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서, 연료의 설정 농도를 0.4M로 하였을 때, 출력 전류의 크기가 0 mA/cm²에서 110 mA/cm²까지 변하는 조건에서 연료의 농도가 유지되는 것을 보여주는 그래프이다.

<124> 도 6은 본 발명의 실시예에 있어서, 상압 조건 하에서, 연료의 설정 농도를 0.8M로 하였을 때, 출력 전류의 크기가 0 mA/cm²에서 110 mA/cm²까지 변하는 조건에서 연료의 농도가 유지되는 것을 보여주는 그래프이다.

<125> *주요 도면 부호의 설명*

<126> 10 : 연료 원액 카트리지 11 : 카트리지와 연료 순환 계통 결합부

<127> 12 : 연료 원액 공급 펌프 20 : 연료 혼합기

<128> 21 : 이산화탄소 방출부 22 : 액위 측정 장치

<129> 30 : 순환 계통 냉각 장치 31 : 연료 순환 펌프

<130> 32 : 공기 공급 펌프 33 : 물 회수 장치

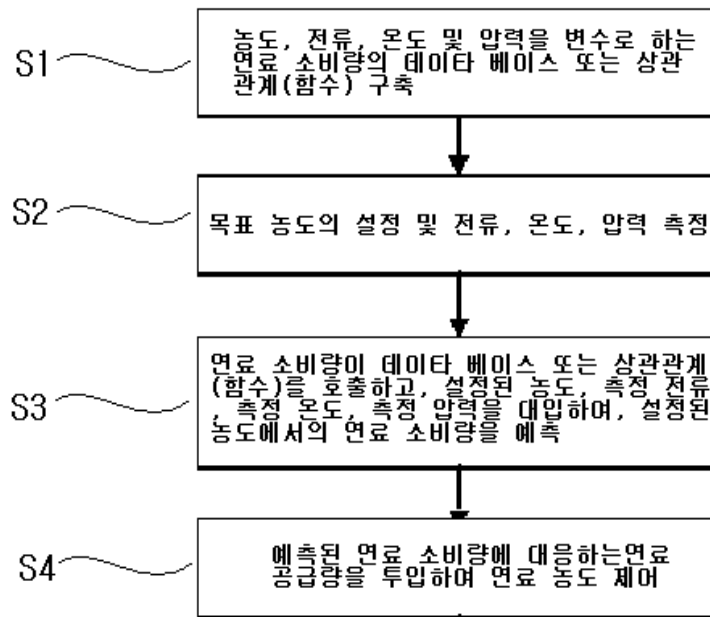
<131> 34 : 물공급 펌프 40 : 연료 전지 스택

<132> 41 : 온도 및 압력 측정 장치 42 : 출력 전류 측정 장치

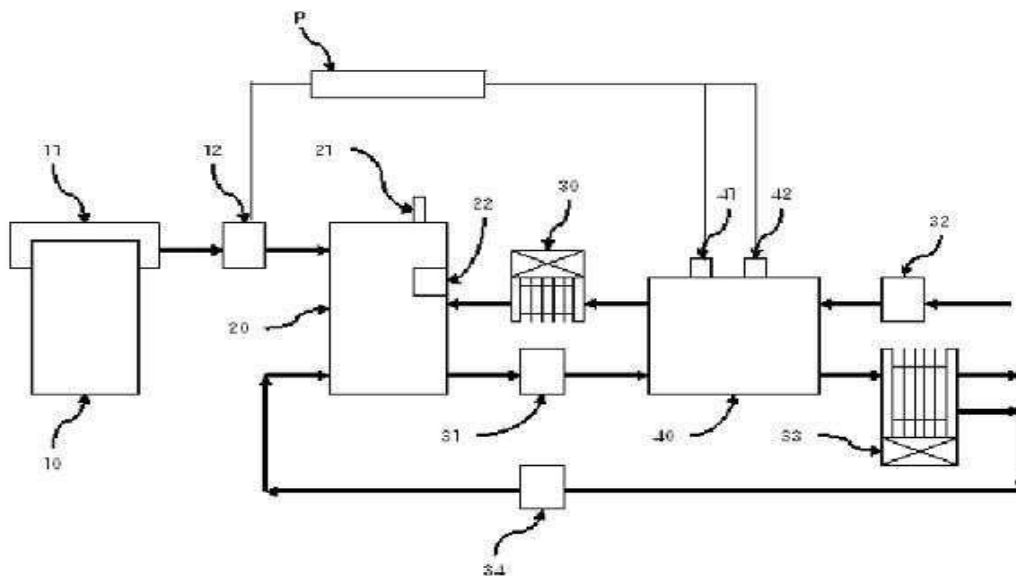
<133> P : 농도 제어 장치

도면

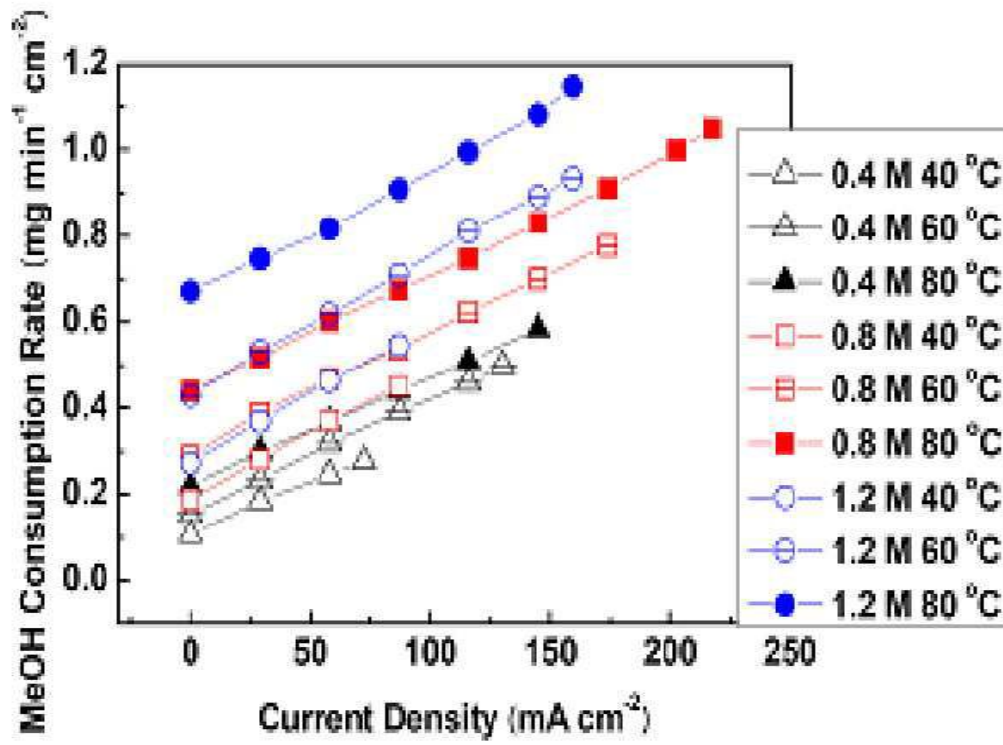
도면1



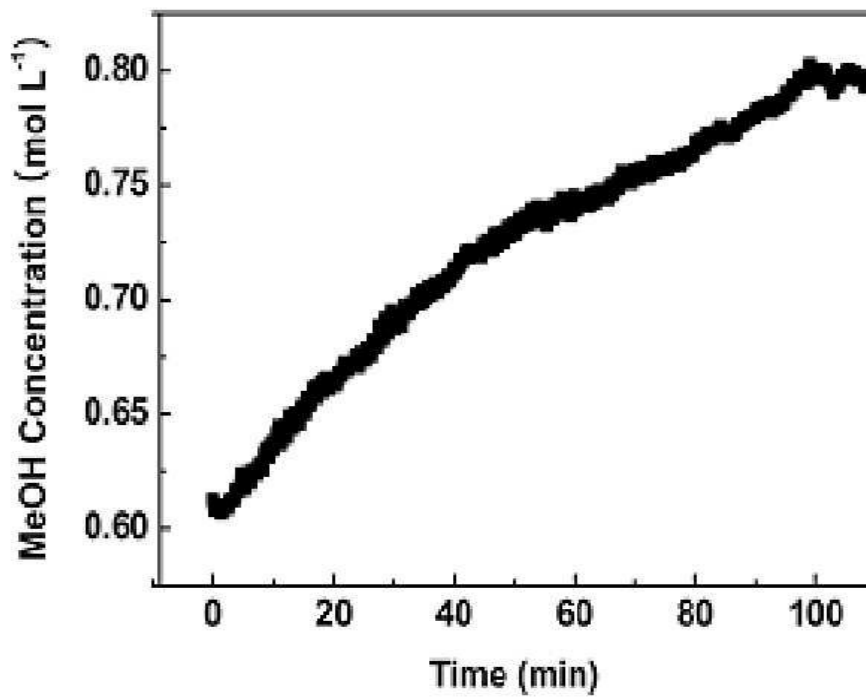
도면2



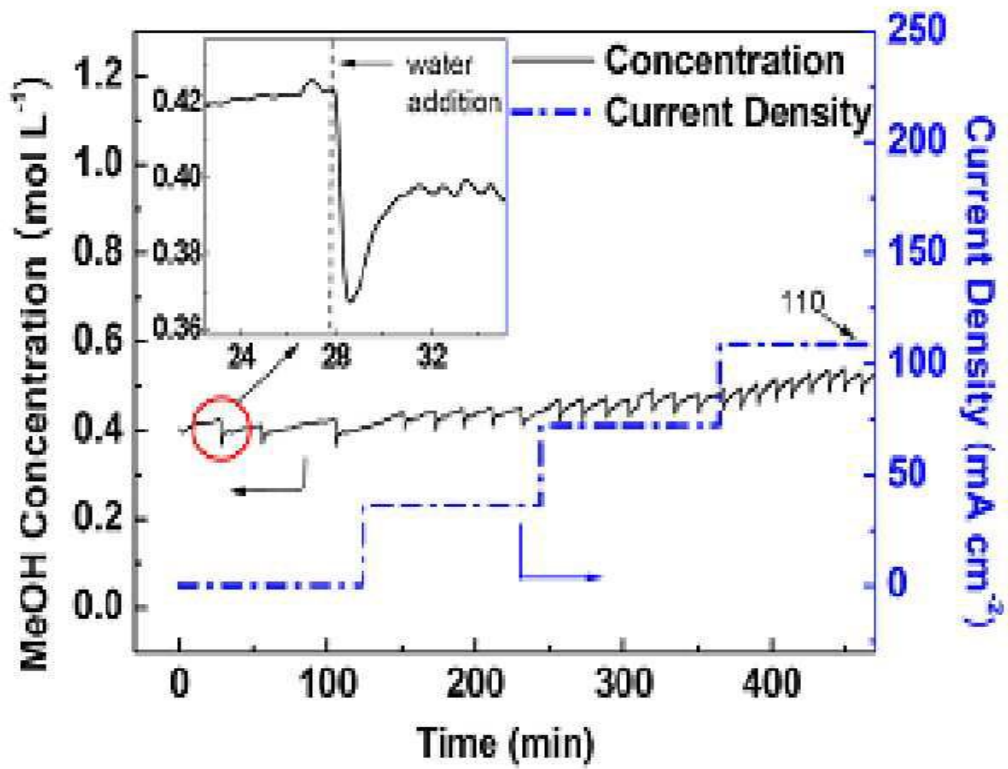
도면3



도면4



도면5



도면6

