



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월27일

(11) 등록번호 10-2082291

(24) 등록일자 2020년02월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**H01M 8/04537** (2016.01) **G01R 31/36** (2019.01)  
**H01M 8/124** (2016.01)
- (52) CPC특허분류  
**H01M 8/04634** (2013.01)  
**G01R 31/389** (2019.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7003106  
 (22) 출원일자(국제) 2016년09월02일  
 심사청구일자 2018년11월08일
- (85) 번역문제출일자 2018년01월31일  
 (65) 공개번호 10-2018-0042235  
 (43) 공개일자 2018년04월25일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2016/050255  
 (87) 국제공개번호 WO 2017/048542  
 국제공개일자 2017년03월23일
- (30) 우선권주장  
 14/853,030 2015년09월14일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US20090075127 A1\*  
 US20090269625 A1\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
**블룸 에너지 코퍼레이션**  
 미국, 캘리포니아 94089, 씨니베일, 올리언스 드  
 라이브 1299
- (72) 발명자  
**수드한, 에쓰., 카르틱**  
 미국 캘리포니아(우편번호:94089), 올리언스 드라  
 이브 서니베일 1299, 블룸 에너지 코퍼레이션 씨  
 /오  
**가네쉬, 브하바나**  
 미국 캘리포니아(우편번호:94089), 올리언스 드라  
 이브 서니베일 1299, 블룸 에너지 코퍼레이션 씨  
 /오  
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
**박경재**

전체 청구항 수 : 총 32 항

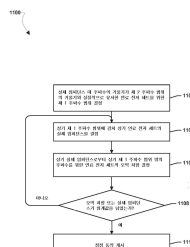
심사관 : 홍성란

(54) 발명의 명칭 전기화학 임피던스 분광학 분석기 및 그의 이용 방법

## (57) 요약

다양한 실시형태의 시스템, 방법 및 장치는, 전기화학적 임피던스 분광법("EIS")이 전기화학 장치와의 인간의 상호 작용 없이 즉시 연료 전지와 같은 다수의 전기화학 장치에서 동시에 수행될 수 있게 및 연료 전지 시스템의 성능을 동적으로 모니터링하도록 EIS를 사용할 수 있게 하는 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제공한다. 실시형태 방법은 전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 연료 전지 세트의 임피던스를 결정하는 단계, 상기 임피던스로부터 연료 전지 세트의 오믹 분극을 결정하는 단계, 상기 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 농도 분극을 결정하는 단계, 상기 연료 전지 세트의 농도 분극을 제 2 임계값과 비교하고, 상기 오믹 분극이 상기 제 1 임계값을 초과하거나 상기 농도 분극이 상기 제 2 임계값보다 낮으면 정정 동작을 개시하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도11



(52) CPC특허분류

*H01M 8/04589* (2013.01)

*H01M 2008/1293* (2013.01)

*Y02E 60/525* (2013.01)

(72) 발명자

**더드호만테, 애플히쉬크**

미국 캘리포니아(우편번호:94089), 올리언스 드라  
이브 서니베일 1299, 블룸 에너지 코퍼레이션 씨/  
오

**거루나탄, 랑가네이탄**

미국 캘리포니아(우편번호:94089), 올리언스 드라  
이브 서니베일 1299, 블룸 에너지 코퍼레이션 씨/  
오

---

**러셀, 란**

미국 캘리포니아(우편번호:94089), 올리언스 드라  
이브 서니베일 1299, 블룸 에너지 코퍼레이션 씨/  
오

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법으로서,

연료 전지 세트에 적용할 단일 주파수를 결정하는 단계로서, 상기 연료 전지 세트의 연료 이용률(fuel utilization)은 상기 단일 주파수에서의 가상 임피던스에 의존하는, 단일 주파수를 결정하는 단계와;

전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 상기 단일 주파수에서의 상기 연료 전지 세트의 상기 가상 임피던스를 결정하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 가상 임피던스를 제 1 임계값과 비교하는 단계와;

상기 가상 임피던스가 상기 제 1 임계값을 넘을 때에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함하며,

상기 연료 전지 세트에 적용할 단일 주파수를 결정하는 단계는,

복수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값을 위해 상기 연료 전지 세트에 주파수 범위를 적용하는 단계와;

상기 주파수 범위에서의 각 주파수에서, 상기 연료 전지 세트의 동작 파라미터들을 변화시키는 단계와;

동작 파라미터들이 변화되는 동안에 상기 복수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값의 각각을 위해 상기 주파수 범위에서의 각 주파수에서 상기 연료 전지 세트의 상기 가상 임피던스를 측정하는 단계와;

상기 복수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값들이 상기 동작 파라미터들보다 가상 임피던스에 더욱 의존적인 상기 주파수 범위에서의 주파수로 상기 단일 주파수를 결정하는 단계와;

상기 단일 주파수를 메모리에 저장하는 단계를 포함하되,

상기 동작 임피던스들은 상기 주파수 및 상기 가상 임피던스를 제외한 상기 연료 이용률 값들에 영향을 미치는 파라미터들 중 적어도 하나인, 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 단일 주파수에서 상기 연료 전지 세트로부터 인출된 전류를 결정하는 단계와;

상기 전류 및 상기 가상 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 전류 및 상기 가상 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률을 결정하는 단계는 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률과 상기 가상 임피던스 사이의 관계를 결정하는 것을 포함하는, 방법.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률과 상기 가상 임피던스 사이의 관계는 상기 전류 및 상기 가상 임피던스를 입력으로 하는 회귀 모델링을 통해 결정되는, 방법.

#### 청구항 5

제 3 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률과 상기 가상 임피던스 사이의 관계는 상기 전류 및 상기 가상 임피던스를 입력으로 하는 회귀 모델링에 따른 룩업 테이블을 통해 결정되는, 방법.

#### 청구항 6

제 2 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 연료 이용률을 제 2 임계값과 비교하는 단계와;

상기 연료 이용률이 상기 제 2 임계값을 넘을 경우에 상기 정정 동작을 개시하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 동작 파라미터들은 온도 및 공기 이용률 중의 적어도 하나를 포함하는, 방법.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트는 연료 전지 모듈, 연료 전지 열, 또는 연료 전지 세그먼트를 포함하는, 방법.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 단일 주파수는 1 Hz 내지 2 Hz인, 방법.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 연료 이용률은 단일 통과 연료 이용률(single pass fuel utilization rate)인, 방법.

#### 청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(stack recovery sequence)를 개시하는 것, 상기 연료 전지 세트에 공급되는 연료를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 세트로부터 출력 전류를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 시스템 내의 구성요소를 조정하는 것, 및 운전자가 조치를 취하도록 경보를 울리는 것 중의 하나 이상을 포함하는, 방법.

#### 청구항 13

제 1 항에 있어서,

전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 제 1 주파수 범위에 걸쳐 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 결정하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스를 제 3 임계값과 비교하는 단계와;

상기 실제 임피던스가 상기 제 3 임계값을 넘는 경우에 상기 정정 동작을 개시하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 14

연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법으로서,

연료 전지 세트에 적용할 제 1 주파수 범위를 결정하는 단계로서, 상기 제 1 주파수 범위에서의 주파수 대 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기는 상기 제 1 주파수 범위 밖의 제 2 주파수 범위의 주파수 대 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기와 동일한, 상기 단계와;

전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 상기 제 1 주파수 범위에 걸쳐 상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스를 결정하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스를 제 1 임계값과 비교하는 단계와;

상기 실제 임피던스가 상기 제 1 임계값을 넘을 때에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함하는, 방법.

#### 청구항 15

제 14 항에 있어서, 상기 실제 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 오믹 저항을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 16

제 15 항에 있어서, 상기 제 1 주파수 범위의 상기 실제 임피던스로부터 상기 제 2 주파수 범위에 대한 상기 연료 전지 세트의 오믹 저항을 결정하는 단계는 상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스와 주파수 간의 관계를 결정하는 것을 포함하는, 방법.

#### 청구항 17

제 16 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스와 주파수 간의 관계는 로그 또는 리니어 피트(log or linear fit) 등식을 통해 결정되는, 방법.

#### 청구항 18

제 16 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스와 주파수 간의 관계는 룩업 테이블을 통해 결정되는, 방법.

#### 청구항 19

제 15 항에 있어서,

상기 연료 전지 세트의 상기 오믹 저항을 제 2 임계값과 비교하는 단계와;

상기 오믹 저항이 상기 제 2 임계값을 넘을 때에 상기 정정 동작을 개시하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 20

제 14 항에 있어서,

상기 제 1 주파수 범위에 걸친 상기 연료 전지 세트의 상기 실제 임피던스는 동작 파라미터들보다 오믹 저항에 더욱 의존성을 갖는, 방법.

#### 청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 동작 파라미터들은 온도 및 공기 이용률 중의 적어도 하나를 포함하는, 방법.

#### 청구항 22

제 14 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트는 연료 전지 모듈, 연료 전지 열, 또는 연료 전지 세그먼트를 포함하는, 방법.

#### 청구항 23

제 14 항에 있어서, 상기 제 1 주파수 범위는 10 Hz 내지 1000 Hz 범위인, 방법.

#### 청구항 24

제 14 항에 있어서, 상기 제 2 주파수 범위는 1000 Hz 내지 100,000 Hz 범위인, 방법.

#### 청구항 25

제 14 항에 있어서, 상기 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(stack recovery sequence)를 개시하는 것, 상기 연료 전지 세트에 공급되는 연료를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 세트로부터 출력 전류를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 시스템 내의 구성요소를 조정하는 것, 및 운전자가 조치를 취하도록 경보를 울리는 것 중의 하나 이상을 포함하는, 방법.

#### 청구항 26

제 14 항에 있어서, 전기화학적 임피던스 분광법을 이용하여 단일 주파수에서 상기 연료 전지 세트의 가상 임피던스를 결정하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 가상 임피던스를 제 3 임계값과 비교하는 단계와;

상기 가상 임피던스가 상기 제 3 임계값을 넘을 때에 상기 정정 동작을 개시하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 27

제 14 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트가 전력을 발생시키는 동안에, DC/DC 변환기는 상기 제 1 주파수 범위에서 상기 실제 임피던스를 결정하도록 측정되는, 방법.

#### 청구항 28

연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법으로서,

전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 연료 전지 세트의 임피던스를 결정하는 단계와;

상기 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 오믹 분극을 결정하는 단계와;

상기 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 농도 분극을 결정하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 오믹 분극을 제 1 임계값과 비교하는 단계와;

상기 연료 전지 세트의 상기 농도 분극을 제 2 임계값과 비교하는 단계와;

상기 오믹 분극이 상기 제 1 임계값을 넘을 때나, 또는 상기 농도 분극이 상기 제 2 임계값을 넘을 때에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함하는, 방법.

#### 청구항 29

제 28 항에 있어서, 상기 임피던스는 단일 주파수나 주파수들의 하위 범위에서 결정되는, 방법.

#### 청구항 30

제 29 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 농도 분극은 상기 단일 주파수에서의 상기 임피던스의 허수 성분(imaginary component)에 의존하는, 방법.

#### 청구항 31

제 29 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트의 상기 오믹 분극은 상기 임피던스의 허수 성분과 주파수들의 상기 하위 범위 사이의 관계로부터 결정되는, 방법.

#### 청구항 32

제 28 항에 있어서, 상기 연료 전지 세트는 연료 전지 모듈, 연료 전지 열, 또는 연료 전지 세그먼트를 포함하는, 방법.

#### 청구항 33

제 28 항에 있어서,

상기 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(stack recovery sequence)를 개시하는 것, 상기 연료 전지 세트에 공급되는 연료를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 세트로부터 출력 전류를 변화시키는 것, 상기 연료 전지 시스템 내의 구성요소를 조정하는 것, 및 운전자가 조치를 취하도록 경보를 울리는 것 중의 하나 이상을 포함하는, 방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 이 출원은 2015년 9월 14일 출원한 미국 가출원 제14/853,030호에 대한 우선권의 이익을 청구하며, 상기 전술한 출원서의 전체 내용은 여기에 참조로 병합된다.

### 배경 기술

[0002] 연료 전지와 같은 전기화학 장치는 연료에 저장된 에너지를 고효율로 전기 에너지로 변환할 수 있다. 고체 산화물 연료 전지(SOFC) 시스템과 같은 연료 전지 시스템에서, 산화 흐름은 연료 입구 흐름이 연료 전지의 애노드 측을 통과하는 동안 상기 연료 전지의 캐소드 측을 통과한다. 산화 흐름은 일반적으로 공기인 반면, 연료 흐름은 메탄, 천연가스, 펜탄, 에탄올 또는 메탄올과 같은 탄화수소 연료일 수 있다. 연료 전지는 캐소드 흐름으로

부터 애노드 흐름으로의 음으로 하전된 산소 이온의 이동을 가능하게 하며, 여기서 이온은 탄화수소 분자 내의 자유 수소 또는 수소와 결합하여 수증기를 형성 및/또는 일산화탄소와 결합하여 이산화탄소를 형성한다. 음으로 하전된 이온으로부터의 초과 전자는 애노드와 캐소드 사이에서 완성된 전기 회로를 통해 연료 전지의 캐소드 측으로 되돌아가며, 상기 회로를 통해 전류가 흐른다.

- [0003] 연료 전지와 같은 전기화학 장치의 동작을 최적화하기 위해, 전기화학 장치의 전극, 전해질 및 전류 캐리어의 분극 거동 및 전도성 특성을 모니터링하여 산화 및 연료 흐름을 정확하게 조절할 수 있다. 연료 전지와 같은 전기화학 장치를 위한 적절한 동작 조건을 유지하기 위해서는 상기 전기화학 장치를 지속적으로 모니터링하고 조정하는 것이 바람직하지만, 연료 전지와 같은 전기화학 장치를 모니터링하는 현재의 방법은 비효율적이고, 맞추어질 수 없으며, 최적화와 지속적인 모니터링 및 조정을 어렵게 하는 인간의 개입을 포함한다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

#### 과제의 해결 수단

- [0004] 다양한 실시형태의 시스템, 방법 및 장치는, 전기화학적 임피던스 분광법("EIS")이 전기화학 장치와의 인간의 상호 작용 없이 즉시 연료 전지와 같은 다수의 전기화학 장치에서 수행될 수 있게 및 연료 전지 시스템의 성능을 동적으로 모니터링하도록 EIS를 사용할 수 있게 하는 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제공한다. EIS를 이용하는 연료 전지 시스템을 모니터링하기 위한 시스템 및 방법이 추가로 개시된다. 다양한 실시형태에서, 상기 방법은 연료 전지 세트에 적용하기 위해 단일 주파수를 결정하는 단계로서, 상기 연료 전지 세트의 연료 이용률은 상기 단일 주파수에서의 가상 임피던스에 의존하는 상기 단계와, 전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 상기 단일 주파수에서 상기 연료 전지 세트의 가상 임피던스를 결정하는 단계와, 상기 연료 전지 세트의 상기 가상 임피던스를 제 1 임계값과 비교하는 단계와, 상기 가상 임피던스가 상기 제 1 임계값 아래일 때에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함한다.
- [0005] 다양한 실시형태에 따르면, 다른 방법은 연료 전지 세트에 적용하기 위해 제 1 주파수 범위를 결정하는 단계로서, 상기 제 1 주파수 범위의 주파수에 대한 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기는 상기 제 1 주파수 범위 밖의 제 2 주파수 범위의 주파수에 대한 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기와 실질적으로 동일한, 상기 단계와, 전기화학적 임피던스 분광법을 사용하여 상기 제 1 주파수 범위에 걸쳐 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 결정하는 단계와, 상기 연료 전지 세트의 실제 임피던스와 제 1 임계값에 비교하는 단계와, 상기 실제 임피던스가 상기 제 1 임계값을 초과하는 경우에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함한다.
- [0006] 다양한 실시형태에 따르면, 다른 방법은 전기화학 임피던스 분광법을 사용하여 연료 전지 세트의 임피던스를 결정하는 단계와, 상기 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 오믹 분극을 결정하는 단계와, 상기 임피던스로부터 상기 연료 전지 세트의 농도 분극을 결정하는 단계와, 상기 연료 전지 세트의 오믹 분극을 제 1 임계값과 비교하는 단계와, 상기 연료 전지 세트의 농도 분극을 제 2 임계값과 비교하는 단계와, 상기 오믹 분극이 상기 제 1 임계값을 초과하거나, 상기 농도 분극이 상기 제 2 임계값 아래일 때에 정정 동작을 개시하는 단계를 포함한다.

#### 도면의 간단한 설명

- [0007] 도 1은 상기 예시적인 실시형태들로 사용될 수 있는 연료 전지 시스템을 도시하는 블록도이다.
- 도 2는 상기 예시적인 실시형태들로 사용될 수 있는 모듈식 연료 전지 시스템의 등각도이다.
- 도 3은 상기 예시적인 실시형태들로 사용될 수 있는 핫 박스(hot box)를 도시하는 개략적인 공정 흐름도이다.
- 도 4는 일 실시형태에 따른 시스템의 블록도이다.
- 도 5는 일 실시형태에 따른 다중-채널 EIS 분석기, 매트릭스 스위치, 및 연료 전지 스택의 개별적인 연료 전지들 사이의 연결을 도시하는 블록도이다.
- 도 6은 다중-채널 EIS를 다수의 개별적인 연료 전지들에 연결하는 매트릭스 스위치 내에서 예시 연결들을 도시하는 블록도이다.

도 7은 연료 전지를 선택 및 시험하기 위한 실시형태 방법을 도시하는 공정 흐름도이다.

도 8은 상이한 연료 이용률에서 연료 전지 세트를 위한 가상의 임피던스와 주파수 간의 관계를 도시하는 그래프이다.

도 9는 한 세트의 연료 전지들을 모니터링하는 실시형태 방법을 도시하는 공정 흐름도이다.

도 10은 넓은 주파수 범위에 걸쳐 연료 전지 세트를 위한 실제 임피던스와 주파수 간의 관계를 도시하는 그래프이다.

도 11은 한 세트의 연료 전지들을 모니터링하는 예시적인 방법을 도시하는 공정 흐름도이다.

도 12는 연료 전지 세트를 모니터링하는 예시적인 방법을 도시하는 공정 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 도 1을 참조하면, 하나의 예시적인 연료 전지 시스템은 정보 기술("IT") 로드(즉, 컴퓨터(들), 서버(들), 모뎀(들), 라우터(들), 랙(들), 전원 공급장치 연결, 및 데이터 중심 환경에서 발견되는 다른 구성요소들 중의 하나 이상을 포함할 수 있는 IT 시스템에서 동작하는 장치)와 같은 DC 로드(102), 입/출력 모듈(IOM)(104), 및 여기에 전체가 참조로 병합된 미국 출원 제13/937,312호에 기술된 바와 같은, 하나 이상의 전원 모듈(106)을 포함한다.
- [0009] 상기 IOM(104)은 하나 이상의 전력 조절 구성요소를 포함할 수 있다. 상기 전력 조절 구성요소는 DC/AC 인버터(104A)(예를 들어, 여기에 전체가 참조로 병합된 미국 특허 제7,705,490호에 기재된 DC/AC 인버터)와 같은 DC 전력을 AC 전력으로 변환하기 위한 구성요소들, 그리드로의 AC 전력 출력을 위한 전기 커넥터, 전기 과도 현상을 관리하기 위한 회로, 시스템 제어기(예를 들어, 컴퓨터 또는 전용 제어 논리 장치 또는 회로) 등을 포함할 수 있다. 전력 조절 구성요소는 연료 전지 모듈로부터의 DC 전력을 상이한 AC 전압 및 주파수로 변환하도록 설계될 수 있다. 208V, 60Hz; 480V, 60Hz; 415V, 50Hz 및 기타 공통 전압 및 주파수를 위한 설계가 제공될 수 있다.
- [0010] 각각의 전원 모듈(106) 캐비닛은 하나 이상의 핫 박스를 수용하도록 구성된다. 각각의 핫 박스는 도전성 상호 연결 플레이트들에 의해 분리된 세라믹 산화물 전해질을 갖는 고체 산화물 연료 전지들의 하나 이상의 스택 또는 컬럼과 같은 연료 전지(106A)들(일반적으로 "세그먼트"라고 함)의 하나 이상의 스택 또는 컬럼을 포함한다. PEM, 용융 탄산염, 인산 등과 같은 다른 연료 전지 유형들도 사용될 수 있다.
- [0011] 연료 전지들은 종종, 상기 연료 전지들이 직렬로 전기적으로 연결되고 상호 연결부로서 기능하는 가스 분리판과 같은 전기적으로 전도성인 상호 연결부에 의해 분리되는 "스택(stacks)"으로 불리는 유닛으로 결합된다. 연료 전지 스택은 그의 단부에 전도성 단부 플레이트를 포함할 수 있다. 연료 전지 스택의 일반화는 직렬로 연결된 하나 이상의 연료 전지 스택을 포함할 수 있는 소위, 연료 전지 세그먼트 또는 열이다(예를 들어, 한 스택의 단부 플레이트는 다음 스택의 단부 플레이트에 전기적으로 연결되는). 연료 전지 세그먼트 또는 열은 상기 세그먼트 또는 컬럼으로부터 직류를 전력 조절 시스템으로 출력하는 전기 리드부를 포함할 수 있다. 연료 전지 스택 세그먼트는 하나 이상의 연료 전지 스택을 포함하는 세그먼트이다. 연료 전지 시스템은 하나 이상의 연료 전지 컬럼을 포함할 수 있으며, 그의 각각은 고체 산화물 연료 전지 스택과 같은 하나 이상의 연료 전지 스택을 포함할 수 있다.
- [0012] 연료 전지 스택은 연료를 위해 내부적으로 매니폴딩되고 공기를 위해 외부적으로 매니폴딩될 수 있으며, 여기서 연료 입구 및 배기관 라이저는, 그의 전체가 여기에 참조로 병합된 미국 특허 제7,713,649호에 기술된 바와 같이, 연료 전지들 사이의 상호 연결판 내의 및/또는 연료 전지 층 내의 개구부를 통해 연장한다. 연료 전지들은 교차 흐름(공기 및 연료 흐름이 각 연료 전지에서 전해질의 대향면들 상에서 대략 직각을 이루는), 평행 역류(공기 및 연료 흐름이 각 연료 전지에서 전해질의 대향면들 상에서 서로 대략 평행하지만 반대 방향인) 또는 평행 동축 흐름(co-flow parallel)(공기 및 연료가 각각의 연료 전지에서 전해질의 대향면들 상에서 동일한 방향으로 서로 대략 평행하게 흐르는) 구성을 가질 수 있다.
- [0013] 전원 모듈은 또한, 태양 전지, 풍력 터빈, 지열 또는 수력 발전기와 같은 직류의 다른 발전기를 포함할 수 있다.
- [0014] 연료 전지들의 세그먼트(들)(106A)은 모듈(106)에 위치한 하나 이상의 DC/DC 변환기(106B)에 의해, 분할 DC 버스와 같은 하나 이상의 DC 버스(112)에 연결될 수 있다. DC/DC 변환기(106B)는 연료 전지 시스템의 임의의

위치, 예를 들어 전원 모듈(106) 대신에 IOM(104)에 위치될 수 있다.

- [0015] 상기 시스템은 선택적으로, 슈퍼 커패시터들, 배터리들, 플라이휠 등의 저장고와 같은 저장 장치를 포함하는 에너지 저장 모듈(108)을 포함할 수도 있다. 상기 저장 장치는 또한, 도 1에 도시된 바와 같은 하나 이상의 DC/DC 변환기(110)를 사용하여 DC 버스(112)에 연결될 수도 있다. 다른 방법으로, 상기 저장 장치는 전원 모듈(106)에 및/또는 IT 로드(102)와 함께 위치할 수 있다. 상기 IT 로드(102)는 A-측(즉, 1차 측)이 DC 버스(112)에 연결되고 B-측(즉, 백업 측)이 전기 그리드(114)(예를 들어, 480V AC 그리드)에 연결되는 전원 공급장치(102A)를 포함할 수 있다. 상기 IOM(104)은 그리드(114)에 연결되어 전력을 상기 그리드(114)에 제공할 수도 있다.
- [0016] 도 2는 여기에 그의 전체가 참조로 병합된 미국 특허 제8,440,362호에 기술된 예시적인 모듈식 연료 전지 시스템을 도시한다. 상기 모듈식 시스템은 2007년 1월 22일에 출원된 "모듈식 연료 전지 시스템"이라는 명칭의 미국 특허 출원 제11/656,006호뿐만 아니라 전술한 모듈 및 구성요소를 포함할 수 있다. 연료 전지 시스템 인클로저(10)의 모듈 설계는 유연한 시스템 설치 및 동작을 제공한다.
- [0017] 상기 모듈식 연료 전지 시스템 인클로저(10)는 복수의 전원 모듈 하우징(12)(상기 하우징(12) 및 그의 구성요소가 도 1에서 공동으로 표시된, 연료 전지 전원 모듈 구성요소를 포함하는), 하나 이상의 연료 입력(즉, 연료 처리) 모듈 하우징(16), 및 하나 이상의 전력 조절(즉, 전기 출력) 모듈 하우징(18)(상기 하우징 및 그 내용물은 도 1에서 104로 표시되고 "IOM"으로 언급되는)을 포함한다. 예를 들어, 상기 시스템 인클로저는 2개 내지 30개의 전원 모듈, 예를 들어, 6개 내지 12개의 전원 모듈과 같은, 임의의 소망하는 개수의 모듈을 포함할 수 있다. 도 2는 공통 베이스(20) 상에 6개의 전원 모듈(좌우로 적층된 6개의 모듈의 일렬), 하나의 연료 처리 모듈 및 하나의 전력 조절 모듈을 포함하는 시스템 인클로저(10)를 도시한다. 각 모듈은 그 자체의 캐비닛 또는 하우징을 포함할 수 있다. 다른 방법으로, 전력 조절(즉, IOM) 및 연료 처리 모듈은 하나의 캐비닛 또는 하우징(14)에 위치한 단일 입/출력 모듈로 결합할 수 있다. 간략하게, 각 하우징(12, 14, 16, 18)은 하기에 "모듈"로 언급될 것이다.
- [0018] 전원 모듈들(12)의 일렬이 도시되지만, 상기 시스템은 모듈들(12)의 하나 이상의 열을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 시스템은 뒤를 맞대고 적층된 2열의 전원 모듈들을 포함할 수 있다.
- [0019] 각각의 전원 모듈(12)은 하나 이상의 핫 박스(13)를 수용하도록 구성된다. 각각의 핫 박스는 전도성 상호연결 플레이트들에 의해 분리된 세라믹 산화물 전해질을 갖는 고체 산화물 연료 전지들의 하나 이상의 스택 또는 열과 같은, 연료 전지들의 하나 이상의 스택 또는 열(명료화를 위해 미도시)을 포함한다. PEM, 용융 탄산염, 인산 등과 같은 다른 연료 전지 유형도 사용될 수 있다.
- [0020] 모듈식 연료 전지 시스템 인클로저(10)는 또한, 하나 이상의 입력 또는 연료 처리 모듈(16)을 포함한다. 이 모듈(16)은 탈황기 베드와 같은 연료의 전처리에 사용되는 구성요소를 포함하는 캐비닛을 포함한다. 연료 처리 모듈(16)은 상이한 유형의 연료를 처리하도록 설계될 수 있다. 예를 들어, 디젤 연료 처리 모듈, 천연가스 연료 처리 모듈 및 에탄올 연료 처리 모듈은 동일하거나 별도의 캐비닛에 제공될 수 있다. 특정 연료에 맞게 조정된 상이한 베드 구성이 각 모듈에 제공될 수 있다. 처리 모듈(들)(16)은 파이프 라인으로부터 제공된 천연가스, 압축 천연가스, 메탄, 프로판, 액체 석유 가스, 가솔린, 디젤, 가정용 난방유, 등유, JP-5, JP-8, 항공 연료, 수소, 암모니아, 에탄올, 메탄올, 합성 가스, 바이오 가스, 바이오 디젤 및 기타 적절한 탄화수소 또는 수소 함유 연료로부터 선택된 다음의 연료들 중의 적어도 하나를 처리할 수 있다. 원하는 경우, 개질기(17)가 상기 연료 처리 모듈(16)에 위치할 수 있다. 다른 방법으로, 개질기(17)를 연료 전지 스택(들)과 열적으로 통합하는 것이 바람직하다면, 개개의 개질기(17)가 각 전원 모듈(12)의 각각의 핫 박스(13)에 위치될 수 있다. 또한, 내부 개질 연료 전지가 사용된다면, 외부 개질기(17)는 전체적으로 생략될 수 있다.
- [0021] 모듈식 연료 전지 시스템 인클로저(10)는 또한, 하나 이상의 전력 조절 모듈(18)을 포함한다. 상기 전력 조절 모듈(18)은 연료 전지 스택에서 생성된 DC 전력을 AC 전력(예를 들어, 여기에 전체가 참조로 병합된 미국 특허 제7,705,490호에 기술된 DC/DC 및 DC/AC 변환기들)으로 변환하기 위한 구성요소들을 포함하는 캐비닛, 상기 그리드로의 AC 전력 출력을 위한 전기 커넥터, 전기 과도현상을 관리하기 위한 회로, 시스템 제어기(예를 들어, 컴퓨터 또는 전용 제어 논리 장치 또는 회로)를 포함한다. 전력 조절 모듈(18)은 연료 전지 모듈로부터의 DC 전력을 상이한 AC 전압 및 주파수로 변환하도록 설계될 수 있다. 208V, 60Hz; 480V, 60Hz; 415V, 50Hz 및 다른 공통 전압 및 주파수를 위한 설계가 제공될 수 있다.
- [0022] 상기 연료 처리 모듈(16) 및 상기 전력 조절 모듈(18)은 하나의 입/출력 캐비닛(14)에 수용될 수 있다. 단일 입/출력 캐비닛(14)이 제공되면, 모듈(16 및 18)은 수직으로 위치될 수 있다(예를 들어, 연료 처리 모듈(16) 탈황

기 캐니스터/베드 상부의 전력 조절 모듈(18))또는 캐비닛(14)에서 나란히 위치될 수 있다.

- [0023] 도 2의 하나의 예시적인 실시형태에 도시된 바와 같이, 하나의 입/출력 캐비닛(14)은 입/출력 모듈(14)의 일 측면 상에서 좌우로 선형으로 배열된 6개의 전원 모듈들(12)의 일렬에 제공된다. 모듈들의 열은, 예를 들어, 시스템이 전원을 공급하는 건물(예를 들어, 모듈의 캐비닛의 후면이 건물 벽을 마주보고 있는 경우)에 인접하여 위치할 수 있다. 일렬의 전원 모듈(12)이 도시되지만, 상기 시스템은 모듈들(12)의 하나 이상의 열을 포함할 수 있다. 예를 들어, 선술한 바와 같이, 상기 시스템은 뒤를 맞대고 적층된 2열의 전원 모듈을 포함할 수 있다.
- [0024] 전원 모듈(12)의 선형 어레이는 쉽게 스케일링 된다. 예를 들어, 연료 전지 시스템(10)에 의해 정비되는 건물 또는 다른 설비의 전력 요구에 따라 더 많거나 더 적은 전원 모듈(12)이 제공될 수 있다. 전원 모듈(12) 및 입/출력 모듈(14)은 또한, 다른 비율로 제공될 수 있다. 예를 들어, 다른 예시적인 실시형태에서, 더욱 많거나 더 적은 전원 모듈(12)이 입/출력 모듈(14)에 인접하여 제공될 수 있다. 또한, 지지 기능은 하나 이상의 입/출력 모듈(14)(예를 들어, 별도의 연료 처리 모듈(16) 및 전력 조절 모듈(18) 캐비닛을 이용하여)에 의해 제공될 수 있다. 추가로, 일 실시형태에서 상기 입/출력 모듈(14)은 상기 열의 전원 모듈들(12)의 단부에 있지만, 일렬의 전원 모듈들(12)의 중심에 위치할 수도 있다.
- [0025] 상기 모듈식 연료 전지 시스템 인클로저(10)는 상기 시스템의 정비를 용이하게 하는 방식으로 구성될 수 있다. 일상적으로 또는 높은 서비스가 제공되는 구성요소들(예를 들어, 소모품 구성요소)의 모두는 서비스 요원에게 필요한 시간을 줄이기 위해 단일 모듈에 배치될 수 있다. 예를 들어, 천연가스 연료에 의한 시스템용 퍼지 가스 및 탈황기 물질은 단일 모듈(예를 들어, 연료 처리 모듈(16) 또는 결합된 입/출력 모듈(14) 캐비닛)에 배치될 수 있다. 이것은 일상적인 유지 보수 동안 접근되는 유일한 모듈 캐비닛이다. 따라서, 각 모듈(12, 14, 16, 및 18)은 다른 모듈 캐비닛을 열지 않고, 다른 모듈을 정비, 수리 또는 제거하지 않고도 상기 시스템으로부터 정비, 수리 또는 제거될 수 있다.
- [0026] 예를 들어, 선술한 바와 같이, 상기 인클로저(10)는 다수의 전원 모듈(12)을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 전원 모듈(12)이 오프라인이 될 때에(즉, 상기 오프 라인 모듈(12)에서 핫 박스(13) 내의 스택들에 의해 전력이 생성되지 않을 때), 나머지 전원 모듈(12), 연료 처리 모듈(16) 및 전력 조절 모듈(18)(또는 결합된 입/출력 모듈(14))은 오프라인 되지 않는다. 또한, 연료 전지 인클로저(10)는 각 유형의 모듈(12, 14, 16 또는 18) 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 특정 유형의 적어도 하나의 모듈이 오프라인이 되었을 때에, 동일한 유형의 나머지 모듈은 오프라인 되지 않는다.
- [0027] 따라서, 복수의 모듈을 포함하는 시스템에서, 각각의 모듈(12, 14, 16 또는 18)은 연료 전지 인클로저(10)로부터 전기적으로 분리되고 제거 및/또는 상기 시스템에서 다른 모듈들의 동작을 중단하지 않고 정비 또는 수리되어, 상기 연료 전지 시스템이 전기 생성을 지속하게 한다. 상기 전체 연료 전지 시스템은, 하나의 핫 박스 내의 한 스택의 연료 전지들이 오작동하거나 정비를 위해 오프라인 되는 경우에 정지될 필요가 없다.
- [0028] 상기 전원 모듈들(12) 및 입/출력 모듈들(14)의 각각은 상기 모듈의 내부 구성요소들이 접근하게(예를 들어, 유지보수, 수리, 대체 등을 위해) 허용하는 도어(30)(예를 들어, 해치, 접근 패널 등)를 포함한다. 일 실시형태에 따르면, 상기 모듈들(12,14)은 각 캐비닛의 일 면상에만 도어(30)를 갖는 선형 어레이로 배열되어, 지속적인 열의 시스템들이 단부들에서 서로에 대해 인접하여 설치되게 한다. 이러한 방식으로, 연료 전지 인클로저(10)의 크기 및 용량은 기존의 모듈(12,14) 및 베이스(20)에 대해 필요한 최소한의 재배치를 갖는 추가의 모듈(12,14) 및 베이스(20)로 조정될 수 있다. 원하는 경우, 모듈(14)에 대한 도어는 캐비닛의 전면이 아니라 측면에 있다.
- [0029] 도어(30)는 실질적으로 수직의 및 또, 실질적으로 수평의 스윙(swing)(예를 들어, "갈매기 날개" 스타일)과 동시에 열릴 수 있다. 즉, 도어(30)는 실질적으로 수평 방향으로 인클로저(10)의 상부 위로 적어도 부분적으로 이동함으로써 개방된다. 이 실시형태의 상기 실질적으로 수직 및 실질적으로 수평이라는 용어는 정확한 수직 및 수평 방향으로부터 각각 0 내지 10도와 같은 0 내지 30도의 편차를 포함한다.
- [0030] 도어(30)는 복수의 독립적인 기계적 암으로 모듈(12 또는 14)의 인클로저 또는 캐비닛(10)의 벽에 장착된다. 개방 위치에서 도어(30)의 상부는 인클로저 또는 캐비닛(10) 위에 위치될 수 있고, 도어의 하부 부분은 인클로저(10)에 개구부를 선택적으로 오버행(overhang)시킬 수 있다. 이러한 구성에서, 도어(30)는 도어의 하부가 연료 전지 시스템 인클로저(10)로부터 오버행하기 때문에 사용자가 열 때, 비 및 눈 보호를 제공한다. 다른 방법으로, 전체 도어(30)는 상기 개방 위치에서 상기 인클로저(10) 위에 위치할 수 있다.
- [0031] 도 3은, 2013년 10월 22일 공표된 미국 특허 제8,563,180호에 개시되고, 그의 전체가 참조로 여기에 병합된, 구성요소들을 통한 다양한 흐름을 보여주는 모듈(12) 및 핫 박스(31)(도 2에서 13으로 표시됨) 구성요소들의 개략

적인 공정 흐름도이다.

- [0032] 상기 핫 박스(31)는 고체 산화물 연료 전지 스택(상기 스택의 하나의 고체 산화물 연료 전지는 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ) 또는 스칸디아(scandia) 안정화 지르코니아(SSZ)와 같은 세라믹 전해질, 니켈-YSZ 또는 Ni-SSZ 서멧과 같은 애노드 전극, 및 란탄 스트론튬 망가나이트(LSM)와 같은 캐소드 전극을 포함한다)과 같은 복수의 연료 전지 스택(39)을 포함한다. 상기 스택(39)은 복수의 열 또는 세그먼트로 서로 위에 배치될 수 있다.
- [0033] 상기 핫 박스(31)는 또한, 증기 발생기(3103)를 포함한다. 상기 증기 발생기(3103)는 물탱크 또는 물 파이프(즉, 연속적인 물 공급원)와 같은 물 공급원(3104)으로부터 도관(330A)을 통해 물을 공급 받고, 물을 증기로 바꾼다. 증기는 도관(330B)을 통해 발생기(3103)로부터 혼합기(3105)로 제공되고 혼합기(3105)에서 스택 애노드(연료) 재순환 스트림과 혼합된다. 혼합기(3105)는 핫 박스(31)의 핫 박스의 내부 또는 외부에 위치될 수 있다. 도 3에 개략적으로 도시된 바와 같이, 가습된 애노드 배기 스트림은 혼합기(3105)의 하류의 연료 유입 라인 또는 도관(329)의 연료 입구 스트림과 결합한다. 다른 방법으로, 원하는 경우, 상기 연료 입구 스트림은 또한 혼합기(3105)에 직접 제공될 수 있으며, 또는 증기가 상기 연료 입구 스트림에 직접 제공될 수 있고/있거나 애노드 배기 스트림이 연료 입구 스트림에 직접 제공된 후에 상기 결합한 연료 스트림을 가습할 수 있다. 증기 발생기(3103)는 증기 발생기(3103)와 도관(3119)에서 열 교환 관계로 통과되는 고온 애노드 테일가스 산화제("ATO")(310) 배기 스트림에 의해 가열된다.
- [0034] 시스템은 다음과 같이 동작한다. 탄화수소 스트림, 예컨대 천연가스와 같은 연료 입구 스트림은 연료 입구 도관(329) 및 핫 박스 외부에 위치한 촉매 부분 압력 산화(CPOx) 반응기(3111)를 통해 제공된다. 시스템 시동 동안, 공기는 또한 CPOx 공기 입구 도관(3113)을 통해 CPOx 반응기(3111)로 제공되어 연료 입구 스트림을 촉매적으로 부분 산화시킨다. 공기는 CPOx 송풍기(3114)에 의해 공기 입구 도관(3113)을 통해 CPOx 반응기(3111)로 송풍될 수 있다. CPOx 송풍기(3114)는 시동 중에만 동작할 수 있다. 정상 상태 시스템 동작 중에, 공기 흐름은(예를 들어, CPOx 송풍기(3114)의 전원을 차단함으로써) 턴-오프되고, CPOx 반응기는 연료가 부분적으로 산화되지 않는 연료통과 방식으로서 작용한다. 따라서, 핫 박스(31)는 CPOx 반응기(3111)를 통해 시동 및 정상 상태 모드들의 모두에서 연료를 제공하는 단지 하나의 연료 입구 도관을 포함할 수 있다. 따라서, 정상 상태 동작 중에 CPOx 반응기를 우회하는 별도의 연료 입구 도관이 필요하지 않다.
- [0035] 연료 입구 스트림은 스택(39) 애노드(연료) 배기 스트림과의 열 교환에 의해 온도가 상승하는 연료 열 교환기(애노드 레큐퍼레이터)/예비-개질기(3137) 내로 제공된다. 상기 연료 입구 스트림은 SMR 반응을 통해 열 교환기(3137)의 예비-개질기 부분에서 예비 개질되고, 개질된 연료 입구 스트림(수소, 일산화탄소, 수증기 및 개질되지 않은 메탄을 포함함)은 상기 연료 입구 도관(들)(321)을 통해 상기 스택(39)으로 제공된다. 연료 입구 스트림은 스택(39) 내의 연료 입구 라이저를 통해 스택을 통과하여 위쪽으로 이동하고, 발전 중에 상기 스택(39)에서 산화된다. 산화 된 연료(즉, 애노드 또는 연료 배기 스트림)는 연료 배기 라이저를 통해 상기 스택(39) 아래로 이동하고 상기 스택으로부터 연료 배기 도관(323A)을 통해 연료 열 교환기(3137) 내로 배출된다.
- [0036] 연료 열 교환기(3137)에서, 애노드 배기 스트림은 열 교환을 통해 연료 입구 스트림을 가열한다. 애노드 배기 스트림은 연료 배기 도관(323B)을 통해 스플리터(3107)에 제공된다. 애노드 배기 스트림의 제 1 부분은 도관(예를 들어, 슬릿)(3133)을 통해 ATO(310)의 스플리터(3107)로부터 제공된다.
- [0037] 애노드 배기 스트림의 제 2 부분은 스플리터(3107)로부터 애노드 냉각기(3100)로 다음으로, 연료 입구 스트림으로 재순환된다. 예를 들어, 애노드 배기 스트림의 제 2 부분은 도관(331)을 통해, 애노드 배기 스트림이 도관(333)으로부터 공기 입구 스트림을 예열하는 애노드 냉각기(즉, 공기 예열기 열 교환기)로 재순환된다. 다음으로, 애노드 배기 스트림은 애노드 재순환 송풍기(3123)에 의해 혼합기(3105)로 제공된다. 애노드 배기 스트림은 증기 발생기(3103)로부터 제공된 증기와 혼합함으로써 혼합기(3105)에서 가습된다. 다음으로, 가습된 애노드 배기 스트림은 가습된 애노드 배기 스트림 도관(3121)을 통해 혼합기(3105)로부터, 그가 연료 입구 스트림과 혼합하는 연료 입구 도관(329) 내로 제공된다.
- [0038] 공기 입구 스트림은 공기 입구 도관(333)으로부터 애노드 냉각기 열 교환기(3100)로 주 송풍기(3125)에 의해 제공된다. 상기 송풍기(3125)는 전술한 바와 같이 전체 시스템을 위한 단일 공기 흐름 제어기를 포함할 수 있다. 애노드 냉각기 열 교환기(3100)에서, 공기 입구 스트림은 열 교환을 통해 애노드 배기 스트림에 의해 가열된다. 가열된 공기 입구 스트림은 도관(3314)을 통해 공기 열 교환기(캐소드 레큐퍼레이터(3200))내로 제공된다. 가열된 공기 입구 스트림은 열 교환기(3200)로부터 공기 입구 도관 및/또는 매니폴드(325)를 통해 스택(들)(39)내로 제공된다.

- [0039] 공기는 스택(39)을 통과하여 캐소드 배기 도관(324) 내로 그리고 도관(324) 및 믹서(3801)를 통해 ATO(310) 내로 통과한다. ATO(310)에서, 공기 배기 스트림은 도관(3133)으로부터 애노드 배기 스트림의 분리된 제 1 부분을 산화시켜, ATO 배기 스트림을 생성한다. ATO 배기 스트림은 ATO 배기 도관(327)을 통해 공기 열 교환기(3200) 내로 배출된다. ATO 배기 스트림은 열 교환을 통해 공기 열 교환기(3200)의 공기 입구 스트림을 가열한다. ATO 배기 스트림(여전히 상온보다 높음)은 공기 열 교환기(3200)로부터 도관(3119)을 통해 증기 발생기(3103)로 제공된다. ATO 배기 스트림으로부터의 열은 증기 발생기(3103)에서 열 교환을 통해 물을 증기로 변환하도록 사용된다. 다음으로, ATO 배기 스트림은 배기 도관(335)을 통해 시스템으로부터 제거된다. 따라서, 공기 입구 송풍기 출력(즉, 동력 또는 속도)을 제어함으로써, 상기 시스템에 도입되는 공기의 크기(즉, 부피, 압력, 속도 등)를 제어할 수 있다. 캐소드(공기) 및 애노드(연료) 배기 스트림은 각각의 ATO 공기 및 연료 입구 스트림들로 사용되므로 별도의 ATO 공기 및 연료 입구 제어기/송풍기가 필요하지 않다. 또한, ATO 배기 스트림이 공기 입구 스트림을 가열하기 위해 사용되기 때문에, 송풍기(3125)에 의한 도관(333) 내의 단일 공기 입구 스트림의 속도의 제어는 스택(39) 및 ATO(310)의 온도를 제어하는데 사용될 수 있다.
- [0040] 따라서, 전술한 바와 같이, 가변 속도 송풍기(3125) 및/또는 제어 밸브를 사용하여 도관(333)의 주 공기 흐름을 변화시킴으로써 스택(39) 온도 및/또는 ATO(310) 온도를 유지한다. 이 경우, 송풍기(3125) 또는 밸브를 통한 주 공기 유량 제어는 주 시스템 온도 제어기로서 작용한다. 또한, ATO(310) 온도는 연료 이용(예컨대, 스택(들)(39)에 의해 생성된 전류 대 스택(들)(39)에 제공되는 연료 입구 흐름의 비율)을 변화시킴으로써 제어될 수 있다. 최종적으로, 도관(331, 3117)에서의 애노드 재순환 스트림은 가변 속도 애노드 재순환 송풍기(3123) 및/또는 제어 밸브에 의해 제어되어, ATO(310)로의 애노드 배기와 혼합기(3105) 및 연료 입구 도관(329)으로의 애노드 재순환을 위한 애노드 배기사이의 분리를 제어할 수 있다.
- [0041] 도 3에 도시된 구성에서, ATO(310)에 연료 및 공기 입력이 없을 수 있다. 외부 천연가스 또는 다른 외부 연료는 ATO(310)에 공급되지 않을 수 있다. 대신에, 연료 전지 스택(들)(39)로부터의 고온 연료(애노드) 배기 스트림은 ATO 연료 입구 스트림으로서 ATO에 부분적으로 재순환된다. 마찬가지로, ATO에 외부 공기가 입력되지 않는다. 그 대신에, 연료 전지 스택(들)(39)로부터의 고온 공기(캐소드) 배기 스트림이 ATO 공기 입구 스트림으로서 ATO에 제공된다.
- [0042] 또한, 연료 배기 스트림은 핫 박스(1) 내에 위치한 스플리터(3107)에서 분리된다. 스플리터(3107)는 애노드 레귤레이터(예를 들어, 연료 열 교환기)(3137)의 연료 배기 출구와 애노드 냉각기(3100)(예를 들어, 공기 예열기 열 교환기)의 연료 배기 입구 사이에 위치한다. 따라서, 연료 배기 스트림은 애노드 냉각기(3100)에 들어가기 전에 혼합기(3105)와 ATO(310) 사이에서 분리된다. 이는 연료 배기 스트림이 애노드 냉각기(3100)에서 상기 공기 입구 스트림과 아직 열 교환되지 않았기 때문에, 선행기술에서 보다 더욱 고온의 연료 배기 스트림이 ATO로 제공되는 것을 허용한다. 예를 들어, 스플리터(3107)로부터 ATO(310) 내로 제공되는 연료 배기 스트림은 350℃ 내지 500℃와 같은 350℃ 이상의 온도, 예를 들어, 390℃-410℃와 같은, 375℃ 내지 425℃의 온도를 가질 수 있다. 또한, 더욱 적은 양의 연료 배기가 애노드 냉각기(3100)에 제공되기 때문에(예를 들어, 스플리터(3107)에서 애노드 배기의 분리로 인해 상기 애노드 배기의 100%가 상기 애노드 냉각기에 제공되지 않는다), 애노드 냉각기(3100)의 열 교환 면적을 줄일 수 있다.
- [0043] 다양한 실시형태의 시스템, 방법 및 장치는, 전기화학적 임피던스 분광법("EIS")이 연료 전지와 같은 다수의 전기화학 장치상에서 상기 전기화학 장치와 인간의 상호작용 없이 동시에 수행될 수 있게 하는 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제공한다. 일 실시형태에서, 매트릭스 스위치는 연료 전지 스택의 전지들(예를 들어, 개별 전지 또는 복수의 전지들의 그룹)의 각각의 서브 세트를 EIS 분석기에 개별적으로 연결하여 EIS가 연료 전지 스택 내의 임의의 연료 전지상에서 수행될 수 있게 한다. 바람직하게는, 전지들의 서브 세트는 단일 연료 전지이다. 그러나, 전지의 서브 세트는 주어진 스택에 있는 모든 전지의 일부 또는 주어진 스택의 모든 전지를 포함하는 두 개 이상의 전지를 포함할 수 있다. 추가 실시형태에서, EIS 분석기는 다중-채널 EIS 분석기일 수 있고, 매트릭스 스위치 및 다중-채널 EIS 분석기의 조합은 EIS가 다수의 연료 전지(즉, 전지들의 다수의 서브 세트)상에서 동시에 수행되도록 할 수 있다. 다수의 연료 전지에서 EIS를 동시에 수행하면 EIS 실행 시간이 단축되고 동일한 시스템 조건에서 개별 전지들을 동시에 시험 및 비교할 수 있다.
- [0044] EIS는 전기화학 장치의 전체 임피던스가 다양한 샘플링 주파수에서 상기 전기화학 장치를 가로지르는 전압 또는 전류를 측정함으로써 결정될 수 있게 한다. 약 1Hz의 진동을 갖는 파형과 같이, 다양한 샘플링 주파수를 달성하도록 선택된 시험 파형이 상기 전기화학 장치에 연결된 라인 상에 생성될 수 있으며, 이에 의해 시험 파형을 전기화학 장치에 주입할 수 있다. 시험 파형은 원하는 샘플링 주파수를 얻기 위해 선택된 사인파 또는 다른 유형의 파동(wave)일 수 있다. 전기화학 장치의 전압 또는 전류 및 결과한 위상 각은 각각의 샘플링 주파수에서 임

피턴스로 변환된 EIS를 사용하여 결정될 수 있다. EIS는 연료 전지와 같은 전기화학적 전원에서 전극, 전해질 및/또는 전류 캐리어의 분극 거동 및 전도성 특성을 연구할 수 있게 한다.

[0045] EIS는 전기화학 장치 조작자가 전개된 전기화학 장치의 분해 패턴, 건전성(예를 들어, 수리가 필요한지의 여부) 및/또는 전기화학적 조성(예를 들어, 연료 전지 또는 전극 조성물로의 가스 흐름)을 이해할 수 있게 한다. EIS 절차(예를 들어, 다양한 주파수에서의 임피던스)의 결과는 나이퀴스트(Nyquist) 플롯 또는 보드(Bode) 플롯을 사용하여 그래픽으로 표현될 수 있으며, 상기 전기화학 장치의 특성은 상기 전기화학 장치의 임피던스 응답에 기초하여 결정될 수 있다. 측정되는 전기화학 장치의 임피던스 응답을 이미 알고 있는(known) 특성을 갖는 전기화학 장치의 임피던스 응답을 이미 알고 있는 특성과 비교함으로써, 측정된 장치의 특성이 식별될 수 있다. 임피던스 응답에 적어도 부분적으로 기초하여 결정될 수 있는 전기화학 장치의 특성은 연료 조건(예, 연료 이용률), 공기 조건(예, 공기 이용률), 촉매 조건(예, 애노드 전극 촉매의 균열 및/또는 애노드 전극 촉매의 탄소 또는 황 피독), 및 수질 조건(예를 들어, PEM 연료 전지막 범람)을 포함한다. 전기화학 장치의 특성에 기초하여 전기화학 장치의 설정을 조정할 수 있다. 예를 들어, 연료 이용률 및/또는 물의 유동률에 기초하여, 전기화학 장치에 제공되는 연료에 대한 연료 입구 스트림 설정 내로의 연료 흐름 및/또는 물의 흐름이 조절될 수 있다. 부가적으로, 전기화학 장치의 결정된 특성은 고장 임계값과 비교될 수 있고, 상기 특성이 상기 고장 임계값을 초과할 때, 연료 기아 상태, 촉매 피독 상태 또는 물 범람 상태와 같은 상기 전기화학 장치의 고장 모드가 표시될 수 있다. 고장 임계값을 초과한 상기 장치를 포함한 모듈(12)은 턴-오프(즉, 오프라인 상태)될 수 있고, 정비되거나 교체될 수 있다.

[0046] 특정 실시형태에서, 전기화학 장치는 하나의 연료 전지, 2개의 연료 전지, 25개의 연료 전지 등과 같이 직렬로 연결된 하나 이상의 연료 전지로 구성된 하나 이상의 연료 전지 스택 세그먼트일 수 있다. 상기 연료 전지 스택 세그먼트는 고체 산화물 연료 전지, 양성자 교환막 연료 전지, 인산 연료 전지, 용융 탄산염 연료 전지, 또는 다른 유형의 연료 전지의 세그먼트일 수 있다. 예를 들어, 상기 연료 전지 스택 세그먼트는 연료 전지들(106A)의 연료 전지 스택 세그먼트일 수 있다.

[0047] 도 4는 일 실시형태에 따른 시스템(400)의 블록도이다. 시스템(400)은 EIS 분석기(404), 매트릭스 스위치(402), 연료 전지 스택(106A)과 같은 전기화학 장치 및 로드 뱅크(408)를 포함할 수 있다. 연료 전지 스택(106A)은 DC-DC 변환기(도 1의 106B로 번호 매김)와 같은 하나 이상의 전력 전자기기(413)를 통해 DC 버스(414)(도 1의 112로 번호 매김)에 전기적으로 연결된 스택들의 더욱 큰 세그먼트의 일부일 수 있다. 동작시에, 연료 전지 스택(106A)은 DC 전압을 DC 버스(414)에 출력할 수 있는 전력 전자기기(413)에 DC 전압을 출력할 수 있다. 일 실시형태에서, DC 버스(414)는 양성선, 중성선, 및 음성선으로 구성된 3-상 버스일 수 있다.

[0048] 도 4는 구성요소들 간의 데이터 전송 연결과 같은 다수의 전기적 연결을 나타낸다. 이러한 연결은 유선(예, 유선, 케이블, 버스 등) 또는 무선일 수 있다. 매트릭스 스위치(402)는 전기 연결부(들)(403A)에 의해 연료 전지 스택(106A)의 각각의 개별 연료 전지에 전기적으로 연결될 수 있다. 연료 전지 스택(106A)은 8개의 전지를 갖는 것으로 도시되어 있지만, 이들 8개의 전지는 단지 예로서 도시되어 있고, 연료 전지 스택(106A)은 10개 내지 100개 전지, 예를 들어, 25개 내지 50개의 전지와 같이, 8개 이상의 전지 또는 8개 이하의 전지를 가질 수 있다. EIS 분석기(404)는 상기 EIS 분석기(404)가 전기 연결부(421)를 통해 연료 전지 스택(106A)으로 시험 파형을 주입할 수 있게(예를 들어, 로드 뱅크(408)를 통해 연료 전지 스택(106A)에 시험 파형을 주입함으로써), 전기 연결부(421)에 의해 상기 연료 전지 스택(106A)에 전기적으로 연결될 수 있다(예를 들어, 로드 뱅크(408)를 통해 상기 연료 전지 스택(106A)으로의 하나 이상의 연결부에 의해). EIS 분석기(404)는 상기 EIS 분석기(404)가 주입된 시험 파형으로부터 결과한 매트릭스 스위치(402)를 통해 연료 전지 스택(106A)의 개개의 연료 전지로부터의 파형을 전기적 연결부(421) 상의 연료 전지 스택으로 샘플링할 수 있도록 전기적 연결부(들)(403B)에 의해 매트릭스 스위치(402)에 연결될 수도 있다. 예로서, EIS 분석기(404)는 주파수를 시간의 함수로서 조정하는 시험 파형을 주입할 수 있다. 단일 EIS 분석기(404)로 도시되어 있지만, EIS 분석기(404)는 연료 전지 스택(106A)의 개별 연료 전지 및 매트릭스로부터의 파형 응답의 임의의 수의 독립적인 채널을 모니터링하기 위해 마스터 및 슬레이브 구성으로 함께 연결된 다수의 EIS 분석기로 구성될 수 있으며, 상기 매트릭스 스위치(402)는 선택된 개수의 독립 채널을 지원하도록 크기가 정해질 수 있다.

[0049] 연료 전지 스택(106A)은 로드 뱅크(408)가 연료 전지 스택(106A)의 전류 및/또는 전압 출력을 모니터링할 수 있도록 전기 연결부(415)에 의해 로드 뱅크(408)에 전기적으로 연결될 수 있다. 로드 뱅크는 전기 부하를 발생시키고 전력원에 부하를 적용하고 상기 전원의 결과한 전력 출력을 변환하거나 방산하는 장치이다. 로드 뱅크의 목적은 실제 애플리케이션에서 전원이 볼 수 있는 동작 또는 "실제" 로드를 정확하게 모방하는 것이다. 그러나 분산되어 예측할 수 없고 가치가 없는 "실제" 로드와 달리, 로드 뱅크는 억제되고, 체계적이며 완전히 제어 가

능한 로드를 제공한다. 매트릭스 스위치(402) 및 EIS 분석기(404)는 각각 매트릭스 스위치(402) 및 EIS 분석기(404)에 전력을 공급할 수 있는 전원 장치(406)에 연결될 수 있다. 일례로서, 전원 장치는 240볼트 AC 전원 장치일 수 있다. 로드 뱅크(408)는 EIS 분석기(404)에 전기적으로 연결될 수 있다. 선택적으로, 홀 효과 전류 변환기와 같은 전류 변환기가 로드 뱅크(408)와 연료 전지 스택(106A) 사이에 연결되어 전류를 감지하고 전류를 나타내는 아날로그 신호를 EIS 분석기(404)로 출력할 수 있다. 로드 뱅크가 연료 전지 스택(106A)의 전류 출력의 고주파수 영역에 응답할 수 없는 경우에 필요할 수 있다.

[0050] 매트릭스 스위치(402), EIS 분석기(404) 및 로드 뱅크(408)는 제어기(412)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 로드 뱅크(408)는 범용 인터페이스 버스(GPIB) 연결부(405)에 의해 제어기(412)에 연결될 수 있고, EIS 분석기(404) 및 매트릭스 스위치(402)는 각각의 범용 직렬 버스("USB") 연결부(407A, 407B)에 의해 상기 제어기(412)에 연결될 수 있다. 일 실시형태에서, 제어기(412)는 매트릭스 스위치(402), EIS 분석기(404), 로드 뱅크(408), 및 연료 전지 스택(106A)에 연료 및/또는 공기를 제공하는 보조 시스템(예를 들어, 연료 송풍기(3123) 및 공기 송풍기(3114, 3125))를 제어하기 위한 동작을 수행하도록 프로세서-수행 가능한 명령으로 구성된 프로세서일 수 있다. 일 실시형태에서, 제어기(412)는 연료 전지 시스템 유지 보수 및 모니터링을 위해 사용되는 랩톱 컴퓨터와 같은 퍼스널 컴퓨터(411)와 유선 및/또는 무선 연결(409)을 설립할 수 있다. 퍼스널 컴퓨터(411)는 연료 전지 운전 및 유지 보수 요원이 연료 전지 스택(106A)의 선택된 전지의 응답 곡선의 특정 영역을 선택 및 분석하여 상기 선택된 전지의 임피던스 응답을 모니터링할 수 있도록 구성될 수 있다.

[0051] 동작시, 제어기(412)는 한 번에 EIS 모니터링을 수행할 연료 전지 스택(106A)의 하나 이상의 연료 전지를 선택할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 동시에 EIS 모니터링을 수행할 1, 2, 3, 4, 5 또는 그 이상의 연료 전지 서브셋을 선택할 수 있다. 제어기(412)는 매트릭스 스위치(402)를 제어하여 EIS 분석기(404)의 하나의 입력을 선택된 하나 이상의 연료 전지의 각각과 정렬시키고 EIS 분석기(404)를 제어하여 연결부(421)를 통해 시험 파형을 연료 전지 스택(106A)(예를 들어, 로드 뱅크(408)를 통한 연결부(421)를 통해 연료 전지 스택(106A) 내로) 연결될 수 있다. 제어기(412)는 EIS 분석기(404)를 제어하여 매트릭스 스위치(402)를 통해 연료 전지 스택(106A)의 각각의 선택된 연료 전지로부터의 출력을 수신할 수 있다. 일 실시형태에서, 시험 파형은 전체 주파수 스위프 파형(full frequency sweep waveform)일 수 있다. 다른 실시형태에서, 시험 파형은 10KHz, 8KHz, 6KHz, 4KHz, 3KHz, 2KHz, 1KHz 등과 같이 특정 주파수 영역만을 시험할 수 있도록 중복된(super positioned) 주파수 또는 표준 주파수 범위일 수 있다. 로드 뱅크(408)는 연결부(417)를 통해 EIS 분석기(404)로부터 출력 신호를 수신하고 이에 응답하여 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 결과적인 전류 및/또는 전압 출력을 측정하고 측정 결과를 제어기(412)로 출력할 수 있다. 일 실시형태에서, EIS 분석기(404)는 전기 연결부(415)상의 선택적인 전류 변환기(410)를 통해 결과를 모니터링하고 연결부(419)를 통해 제어기(412)에 결과를 출력할 수 있다. 연료 전지 스택(106A)으로 상이한 시험 파형을 주입함에 의해, 연료 전지 스택(106A)의 연료 전지들의 상이한 응답이 모니터링될 수 있다. 매트릭스 스위치(402)를 통해 독립적으로 연료 전지 스택(106A)의 상이한 연료 전지의 응답을 모니터링함으로써, 하나 이상의 전지의 EIS 모니터링이 동시에 수행될 수 있다. 일단 연료 전지 스택(106A)의 초기 세트의 선택된 연료 전지들에 대한 EIS 모니터링이 완료되면, 제어기(412)는 연료 전지 스택의 다음 세트의 하나 이상의 연료 전지를 선택하고 매트릭스 스위치(402)를 제어하여 EIS 분석기(404)의 하나의 입력을 다음 세트의 선택된 하나 이상의 연료 전지들의 각각의 출력과 정렬한다. 이러한 방식으로, EIS 모니터링은 연료 전지 스택의 연속적인 세트의 연료 전지들 상에서 수행될 수 있다. 이러한 방식으로, 연료 전지 스택의 다수의 연료 전지를 연속적으로 함께 시험함으로써, 연료 전지 스택(106A)의 모든 개별 전지의 EIS 모니터링은 연료 전지 스택(106A)의 각각의 개별적인 연료 전지가 순서대로 개별적으로 시험되어야 하는 경우보다 빠르게 완료될 수 있다.

[0052] 제어기(412)는 로드 뱅크(408) 및/또는 EIS 분석기(404)로부터 수신된 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 EIS 모니터링에 의해 결정된 임피던스 응답을 사용하여 각각의 선택된 연료 전지의 특성을 결정할 수 있고, 결정된 특성에 기초하여 시스템(400)의 설정을 조정할 수 있다. 제어기(412)는 임피던스 응답 및/또는 저장된 임피던스 값의 플롯과 같은, 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 EIS 모니터링에 의해 결정된 임피던스 응답을, 이미 알고 있는 특성과 상관된 유사한 연료 전지의 임피던스 응답의 저장된 플롯 및/또는 저장된 임피던스 값과 같은, 메모리에 저장된 임피던스 응답과 비교할 수 있다. 제어기(412)는 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 EIS 모니터링에 의해 결정된 임피던스 응답을 임의의 방식으로 저장된 임피던스 응답과 비교하여 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 EIS 모니터링에 의해 결정된 임피던스 응답과 저장된 임피던스 응답 간의 일치를 식별한다.

[0053] 제어기(412)가 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 EIS 모니터링에 의해 결정된 임피던스 응답과 저장

된 임피던스 응답 사이의 일치(예를 들어, 동일하게 또는 소정의 변동 값 내에서)를 결정할 때, 제어기(412)는 저장된 임피던스 응답과 상관된 특성을 연료 전지 스택(106A)의 각각의 선택된 연료 전지의 특성으로 결정한다. 예를 들어, 제어기(412)는 EIS 모니터링에 기초하여 연료 전지의 연료 입구 스트림에서의 연료 이용률 및/또는 증기 대 탄소 비율을 결정할 수 있고, 송풍기(3123) 또는 연료 입력 라인(329) 또는 라인(3104)로부터 증기 발생기(3103)로의 물 흐름을 조정함에 의해 결정된 연료 이용률에 기초하여 연료 흐름 설정 및/또는 상기 시스템(400)의 연료 입구 증기 설정으로의 물 입력을 조정할 수 있다. 다른 예로서, 제어기(412)는 EIS 모니터링에 기초하여 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 공기 이용률을 결정할 수 있고, 도 3에 도시된 송풍기(3125)를 조정함에 의해 결정된 공기 이용률에 기초하여 상기 시스템(400)의 공기 흐름 설정을 조정할 수 있다. 다른 예로서, EIS 모니터링은 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 결정된 특성을 고장 임계값과 비교할 수 있게 하고, 상기 특성이 고장 임계값을 초과할 때 연료 전지 스택(106A)의 선택된 연료 전지의 고장 모드가 연료 기아 상태(예를 들어, 애노드에서의 불충분한 연료), 애노드 촉매 손상 또는 피독 상태(예를 들어, 애노드에서의 탄소 및/또는 황 축적, 애노드 촉매 균열 등), 또는 연료 및/또는 물의 흐름을 초래할 수 있거나(조정되는) 또는 시스템을 차단할 수 있는 물 범람 상태(예, PEM 연료 전지에서)와 같이, 표시될 수 있다.

[0054] 도 5는 일 실시형태에 따른, 다중-채널 EIS 분석기(404), 매트릭스 스위치(402), 및 연료 전지 스택(106A)과 같은 연료 전지 스택의 개개의 연료 전지 사이의 연결을 도시하는 블록도이다. 연료 전지 스택(106A)은 25개의 전지(1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, ... 1Y)와 같은 복수의 연료 전지들과 복수의 상호 연결부(501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525 및 526)를 포함한다. 단부 상호 연결부(501 및 526)는 스택(106A)의 단부 플레이트들이다. 스택 내의 각 연료 전지는 2개의 인접한 상호 연결부 사이에 위치한다. 따라서, 전지(1A)은 단부 플레이트(501)와 상호 연결부(502) 사이에 위치되고, 전지(1B)은 상호 연결부(502 및 503) 사이에 위치하며 전지(1C)은 상호 연결부(503 및 504) 사이에 위치한다. 마지막 전지(1Y)은 상호 연결부(525)와 단부 플레이트(526) 사이에 위치한다.

[0055] 매트릭스 스위치(402)는 연결부(531, 532, 533 등)와 같은 전기 연결부(403A)에 의해 스택(106A)에 연결된다. 각 연결부는 스택 내의 하나의 상호 연결부를 스위치(402)에 연결하는 와이어, 케이블 또는 버스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 연결부(531, 532, 533)는 각각의 상호 연결부(501, 502, 503)에 연결된다. 각각의 연료 전지는 스택 내의 인접한 상호 연결부에 대한 2개의 연결부에 의해 매트릭스 스위치(402)에 전기적으로 연결된다. 따라서, 연료 전지(1A)는 인접한 상호 연결부(501 및 502)에 대한 연결부(531 및 532)에 의해 매트릭스 스위치(402)에 전기적으로 연결된다. 이것은 상호 연결부(501 및 502) 사이의 연료 전지(1A)를 통한 폐쇄 전기 루프를 형성한다. 마찬가지로, 연료 전지(1B)는 인접한 상호 연결부(502 및 503)에 대한 연결부(532 및 533)에 의해 매트릭스 스위치(402)에 전기적으로 연결된다. 이 구성에서, 각 연료 전지는 매트릭스 스위치(402)에 독립적으로 전기적으로 연결되고, 연료 전지의 각 서브 세트는 하나의 전지를 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 상호 연결부(502)에 대한 연결부(532)는 생략되거나 비활성으로 렌더링될 수 있다(즉, 전류 또는 전압이 그에 인가되지 않거나 이로부터 수집되지 않음). 이 실시형태에서, 연료 전지의 서브 세트는 전기적 신호가 연결부(531, 533)를 통해 각각 모니터링되는 상호 연결부(501 및 503) 사이에 위치한 2개의 연료 전지(1A 및 1B)를 포함한다. 다른 실시형태에서, 연료 전지의 서브 세트는 3 개 내지 25개의 전지와 같은 2개 이상의 전지를 포함할 수 있다.

[0056] 일 실시형태에서, 다중-채널 EIS 분석기(404)는 다섯 사례의 EIS 모니터링 이 서로 관련하여 수행되게 하는 5-채널 EIS 분석기일 수 있다. 다중-채널 EIS 분석기(404)는 5개의 물리적 연결부를 통해 매트릭스 스위치(402)에 연결될 수 있다. 매트릭스 스위치는 EIS 분석기(404)의 5개의 물리적 연결부 중 임의의 것이 25개의 개개의 연료 전지(1A 내지 1Y) 중 임의의 하나와 정렬되도록 구성된 내부 스위치의 어레이를 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 5개의 상호 연결부(501, 502, 503, 504, 및 505)의 시험 출력의 각각은 상술한 연결부(421)를 통해 주입되는 시험 파형과 같은, 연료 전지 스택(106A)에 주입된 다중-채널 EIS 분석기(404)로부터의 시험 파형에 응답하여 파형을 출력할 수 있다. 매트릭스 스위치(402)는 5개의 상호 연결부(501, 502)로부터의 5개의 개별적인 파형이 EIS 분석기(404)의 5개의 상이한 입력을 향하도록 5개의 상호 연결부(501, 502, 503, 504, 및 505)의 출력을 다중-채널 EIS 분석기(404)의 각 입력에 결합하도록 제어될 수 있다. 매트릭스 스위치(402)는 다중-채널 EIS 분석기(404)의 각각의 입력으로부터 5개의 상호 연결부(501, 502, 503, 504, 및 505)의 시험 출력을 결합 해제하고 5개의 상이한 상호 연결부(506, 507, 508, 509 및 510)의 시험 출력을 다중-채널 EIS 분석기(404)의 입력에 연결하여 5개의 상이한 상호 연결부(506, 507, 508, 509 및 510)로부터의 5개의 추가 파형이 다중-채널 EIS 분석기(404)의 5개의 입력을 향하도록 제어될 수 있다. 유사한 방식으로, 매트릭스 스위치(402)는 주입된 시험 파형에 응답하여 생성된 나머지 상호 연결부(511-525)의 파형을 연속적인 그룹으로 EIS 분석기(404)로 전송하도록 제어될 수 있다. 분석기(404)는 마스터 및 슬레이브 구성과 같이 2개 내지 4개 채널 또는 6개 내지 25

개 채널과 같은 5개 이상 또는 이하의 채널, 예를 들어 8개 내지 10개의 채널을 포함할 수 있다.

- [0057] 도 6은 다중-채널 EIS 분석기(404)를 연료 전지의 다수의 서브 세트에 연결하는 매트릭스 스위치(402) 내의 예시적인 연결부를 나타내는 블록도이다. 도 6은 연료 전지 스택 요소(606, 608 및 610)를 도시한다. 각각의 요소(606, 608 및 610)는 단일 연료 전지 또는 상호 연결부와 같은 연료 전지의 서브 세트일 수 있다. 각각의 구성 요소가 연료 전지인 경우, 도 5에 도시된 바와 같이, 연료 전지의 대향 면에 인접하여 위치한 2개의 상호 연결부에 대한 2개의 전기 연결부를 통해 연료 전지에 전기적 연결이 이루어진다는 것을 이해해야 한다. 각 요소가 상호 연결부이면, 상기 상호 연결부의 대향면들 상의 두 개의 인접한 연료 전지에 그가 전기적으로 연결된다.
- [0058] 예를 들어, 다중-채널 EIS 분석기(404)는 매트릭스 스위치(402)로부터의 3 개의 물리적 입력(611, 612 및 613)을 갖는 3-채널 EIS 분석기일 수 있다. 각각의 요소(606, 608 및 610)는 시험 출력(614, 615, 616)에 의해 매트릭스 스위치(402)에 각각 연결된다. 출력들(614, 615, 616)은 요소들(606, 608 및 610)이 상호 연결 인 경우 단일 전기 연결부이고, 요소들(606, 608 및 610)이 각각의 상호 연결부 사이에 위치하는 연료 전지인 경우, 스택 내의 2개의 상이한 상호 연결부에 연결된 이중 단일 전기 연결부(예를 들어, 2개의 와이어)이다.
- [0059] 내부 스위치(617, 618 및 619)는 시험 출력(614)을 3개의 물리적 입력(611, 612 및 613)에 연결할 수 있다. 내부 스위치(620, 621 및 622)는 시험 출력(615)을 3개의 물리적 입력(611, 612 및 613)에 연결할 수 있다. 내부 스위치(623, 624 및 626)는 시험 출력(616)을 3개의 물리적 입력(611, 612 및 613)에 연결할 수 있다. 매트릭스 스위치(626)의 제어기(626)는 각 스위치(617 내지 625)를 제어하도록 각 스위치(617 내지 625)에 연결될 수 있다. 이러한 방식으로, 스위치(617 내지 625)를 개방 및/또는 폐쇄함으로써, 제어기(626)는 연료 전지(606, 608 및 610)로부터 물리적 입력(611, 612 및 613)으로 파형을 라우팅할 수 있다. 3-입력 및 3-출력 매트릭스 스위치(402) 및 3개의 연료 전지(606, 608 및 610)에 연결된 3-채널 다중-채널 EIS 분석기(404)로 도시되어 있지만, 3-입력 및 3-출력 매트릭스 스위치(402) 및 3개의 연료 전지(606, 608 및 610)들에 연결된 3-채널 다중-채널 EIS 분석기(404)가 단지 매트릭스 스위치 및 개별 연료 전지에 연결된 다중-채널 EIS 분석기의 동작 원리를 설명하기 위해 도시된다. EIS 분석기의 더 많거나 더 적은 채널이 각각의 개별 연료 전지를 각 EIS 분석기 입력에 연결하기에 적절한 내부 스위치의 더 큰 또는 더 작은 어레이를 갖는 매트릭스 스위치를 통해 다소간의 개별 연료 전지에 연결될 수 있다.
- [0060] 도 7은 동시에 연료 전지 스택으로부터 복수의 연료 전지를 선택 및 시험하기 위한 실시형태 방법(700)을 도시하는 공정 흐름도이다. 일 실시형태에서, 방법(700)의 동작은 도 4를 참조하여 기술한 연료 전지 시스템(400)의 제어기(412)와 같은 연료 전지 시스템의 제어기에 의해 수행될 수 있다. 블록(702)에서, 제어기는 임피던스 시험을 위해 복수의 연료 전지로부터 연료 전지를 선택할 수 있다. 제어기는 복수의 연료 전지로부터 임의의 연료 전지를 선택할 수 있다. 예로서, 제어기는 임피던스 시험을 위해 연료 전지 스택(예를 들어, 다음 5개의 연료 전지)으로부터 다음 그룹의 연료 전지를 선택할 수 있다. 블록(704)에서, 제어기는 각 선택된 연료 전지에 대한 채널을 선택할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 각각의 선택된 연료 전지로부터 파형이 수신된 다중-채널 EIS 분석기(404)와 같은 다중-채널 EIS 분석기의 채널을 선택할 수 있다. 이러한 방식으로, 각각의 연료 전지는 제어기에 의해 선택되어 연료 전지 스택에 주입된 시험 파형 형태로부터 결과한 파형을 다중-채널 EIS 분석기로 출력할 수 있다.
- [0061] 블록(706)에서, 제어기는 각 선택된 연료 전지를 EIS 분석기의 각각의 선택된 채널과 정렬시키도록 매트릭스 스위치를 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 EIS 분석기의 각 채널 입력을 선택된 연료 전지들 중 하나의 시험 출력에 연결하기 위해, 제어기(626)를 사용하여 매트릭스 스위치(402)와 같은 매트릭스 스위치를 제어할 수 있다.
- [0062] 블록(707)에서, 제어기는 다중-채널 EIS 분석기를 제어하여 시험 파형을 연료 전지 스택에 주입할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 연결부(421)와 같은 연결부 및/또는 로드 뱅크(408)를 통해 연료 전지 스택(106A)과 같은 연료 전지 스택에 시험 파형을 주입하도록, EIS 분석기(404)와 같은 다중-채널 EIS 분석기를 제어할 수 있다.
- [0063] 블록(708)에서, 제어기는 다중-채널 EIS 분석기를 제어하여 매트릭스 스위치를 통해 선택된 연료 전지 서브 세트(예를 들어, 단일의 선택된 연료 전지)로부터 선택된 채널 각각에서 파형을 수신하고 주입된 시험 파형에 응답하여 연료 전지의 각 선택된 서브 세트의 임피던스 응답을 모니터링할 수 있다. 이러한 방식으로, 선택된 연료 전지의 전기화학적 특성이 동일한 동작 환경하에서 그리고 전체 연료 전지 스택에 주입된 동일한 하나의 시험 파형에 응답하여 비교되고 연구될 수 있다. 일 실시형태에서, 시험 파형은 전체 주파수 스위프 파형 일 수 있다. 다른 실시형태에서, 시험 파형은 10KHz, 8KHz, 6KHz, 4KHz, 3KHz, 2KHz, 1KHz 등과 같이 주파수의 특정 영역만을 시험할 수 있도록 중첩된(super positioned) 주파수 또는 표준 주파수 범위일 수 있다. 시험 특정 주파

수 영역을 시험하는 것에 초점을 맞춘 시험 파형의 사용은 특정 주파수 및 연료 스트림 환경과 같은 상이한 환경에서 시간에 따른 전기화학적 파라미터의 동적 변화가 모니터링되도록 할 수 있다.

[0064] 블록(710)에서, 제어기는 연료 전지의 임피던스 응답에 적어도 부분적으로 기초하여 연료 전지의 선택된 서브 세트의 각각의 특성을 결정할 수 있다. 전술한 바와 같이, 제어기는 주입된 시험 파형으로부터 생기는 측정된 임피던스의 실수부와 허수부를 플로팅(plotting)하기 위해 EIS 모니터링을 이용할 수 있고, 이미 알고 있는 특성을 갖는 연료 전지의 임피던스 응답의 이미 알고 있는 특징과 상기 플로팅된 임피던스를 비교할 수 있다. 이미 알고 있는 특성을 갖는 연료 전지의 임피던스 응답의 이미 알고 있는 특징은 제어기에 이용 가능한 메모리에 저장될 수 있다. 이미 알고 있는 특성을 갖는 연료 전지의 임피던스 응답의 저장된 이미 알고 있는 특징은 건전한 연료 전지 및 건전하게 시험(즉, 손상되지 않은/열화되지 않은)된 것으로부터 유래한 손상된/열화된 연료 전지 및 다양한 형태의 손상(예, 애노드 균열) 및/또는 열화(예, 연료 기아 모드에서 동작하는 전지)이 있는 손상된/열화된 연료 전지의 측정된 임피던스의 실수부 및 허수부의 플롯일 수 있다. 이미 알고 있는 특성은 메모리에 저장된 측정된 임피던스의 실수부 및 허수부의 플롯과 상관관계가 있다. 측정된 임피던스를 임피던스 응답의 이미 알고 있는 특성에 매칭시킴으로써, 연료 전지의 전류 특성 또는 상태는 임피던스 응답의 매칭한 이미 알고 있는 특성과 상관된 특성으로서 결정될 수 있다.

[0065] 선택적 블록(712)에서, 제어기는 결정된 특성에 기초하여 연료 전지 시스템의 설정을 조정할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 연료 흐름, 공기 흐름, 연료 전지로부터의 인출된 전류 및/또는 연료 입구 스트림으로의 물 흐름을 변경(예, 증가 또는 감소)하거나 전체 연료 전지 시스템 또는 결정된 특성을 기반으로 정비 또는 교체를 위한 고장 임계값을 초과한 전지를 포함하는 시스템의 모듈(12)을 차단할 수 있다. 따라서, 단계(712)는 연료 전지 시스템으로의 연료 유속 변화, 연료 전지 시스템으로의 공기 유속 변화, 연료 전지 시스템으로부터 인출된 전류량 변경, 연료 입구 스트림으로 제공된 물의 양 변경, 또는 정비 또는 교체를 위해 상기 연료 전지 시스템의 적어도 일부를 차단하는 것 중의 하나 이상을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, EIS 모니터링과 같은 임피던스 시험은 개별 연료 전지의 전류 특성에 기초하여 연료 전지 시스템의 동작을 조정하기 위해 연료 전지 시스템에 사용될 수 있다.

[0066] 본 발명의 실시형태들의 시스템 및 방법은 자동화, 연료 전지 선택의 용이성, 업그레이드 및 실행을 향상시키면서 임피던스 분석이 인간의 개입 없이 더 빠르고 더 효율적으로 수행되게 한다. 이 시스템 및 방법은 또한 시스템 운영자가 플리트(fleet) 운전 동안 플리트 환경에서 보다 빠른 속도로 연료 전지 스택 구성요소의 시스템 저하 패턴 및 건전성을 이해할 수 있게 한다. 상기 시스템 및 방법은 또한 시스템 운영자가 플리트 내의 연료 전지의 갑작스런 소멸 동안 연료 전지의 전기화학적 파라미터를 이해할 수 있게 한다.

[0067] EIS 모니터링은 연료 전지 시스템 내의 하나 이상의 연료 전지에 관한 다양한 파라미터 및 데이터를 얻기 위해 사용될 수 있다. 특히, EIS는 손실이 최소화 될 수 있도록 연료 전지 시스템에서 전압 손실 또는 분극의 원인을 결정하는데 사용될 수 있다. 세 가지 주요 유형의 분극화가 있다: 오믹 분극, 활성화 분극 및 농도 분극. 오믹 분극은 전해질을 통해 전도하는 이온의 오믹 저항으로 인해 발생한다. 활성화 분극은 애노드 및 캐소드에서 전기화학적 활성화 장벽에 의해 발생한다. 농도 분극은 가스가 애노드 및 캐소드를 통해 높은 비율로 확산할 수 없기 때문에 발생한다. 농도 분극 정도는 주로 연료 전지의 3-상 경계부(즉, 연료가 사용되는 영역)에서 반응물의 이용 가능성에 기초한다.

[0068] EIS 분석기는 연료 전지 시스템의 전압 손실에 대한 다양한 분극의 기여도를 결정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, EIS 분석기는 하나 이상의 연료 전지의 오믹 저항, 따라서 오믹 분극을 결정할 수 있다. 다른 예에서, EIS 분석기는 하나 이상의 연료 전지의 연료 이용률을 결정할 수 있고, 따라서 농도 분극을 결정할 수 있다. 그러나, 이들 파라미터를 얻으려면, 일반적으로 EIS 분석기를 사용하여 넓은 주파수 스윙(예를 들어, 10 kHz 내지 100 MHz)을 수행하는 것이 필요하다. 수집된 데이터는 전기화학적 회로 모델을 구성하고 회로 모델로부터의 각 분극에 대한 추정 값을 계산하는데 사용된다. 그러나, 이 프로세스는 복잡하며 완료하는데 약간의 시간이 걸릴 수 있다. 오믹 및 농도 분극을 포함하는 분극 값이 단일 주파수 EIS 측정 또는 제한된 주파수 범위 EIS 측정을 통해 얻어질 수 있다면 바람직할 것이다. 이를 통해 측정이 신속하게 완료될 수 있으며, 오믹 또는 농도 분극의 값을 기반으로 연료 전지 시스템의 동적 조정을 구현하는데 사용될 수 있다. 이를 통해 연료 전지 시스템의 효율을 최적화할 수 있을 뿐만 아니라 연료 전지 시스템에서 발생하는 문제를 임시 수정할 수 있다.

[0069] 본 명세서에 설명된 다양한 실시형태는 단일 주파수 EIS 측정만을 사용하는 연료 전지 시스템에서 하나 이상의 연료 전지의 연료 이용률, 따라서 농도 분극을 측정하는 방법을 개시한다. 연료 전지 시스템의 연료 이용률은 연료 전지로부터 인출된 전류, 연료 전지의 임피던스의 허수 성분, 연료 전지의 온도, 공기 이용률 및 기타 다

양한 변수를 포함한 다수의 매개 변수에 의존할 수 있다. 따라서, 연료 전지의 가상 임피던스는 EIS 분석기에 의해 연료 전지에 인가되는 주파수를 변화시킴으로써 변화될 수 있지만, 연료 이용률에 영향을 미치는 다른 파라미터들로부터의 연료 이용률에 대한 임피던스의 효과를 분리하는 것이 어려울 수 있다.

[0070] 도 8은 EIS 분석기에 의해 연료 전지 세트(예를 들어, 연료 전지 모듈, 열 또는 세그먼트)에 인가된 주파수 및 EIS 분석기에 의해 측정된 가상 임피던스의 대응하는 값을 플로팅하는 로그 그래프(800)를 도시한다. 그래프(800)는 3개의 플롯(802a-802c)을 포함하며, 각 플롯은 이미 알고 있는 연료 이용률에 대응한다. 예를 들어, 플롯(802a)의 연료 이용률은 90%일 수 있는 반면, 플롯(802b)의 연료 이용률은 86%일 수 있고 플롯(802c)의 연료 이용률은 83%일 수 있다. 고주파수 값, 예를 들어 10Hz 이상의 주파수의 경우, 그래프(800)는 플롯(802a-802c)의 가상 임피던스 값에서의 변화가 거의 없으며, 가상 임피던스 값이 연료 이용률 값에 크게 의존하지 않는다는 것을 의미한다. 그러나, 낮은 주파수, 예컨대 1 Hz와 10 Hz 사이의 주파수 범위(804)에 대해, 플롯(802a-802c)의 가상 임피던스 값은 발산한다. 이것은 가상 임피던스 값이 저 주파수의 연료 이용률 값에 크게 의존함을 의미한다. 따라서, 예를 들어 주파수(806)에서의 단일 저주파 EIS 측정은 상이한 연료 이용률을 갖는 연료 전지 세트를 구별할 수 있고, 상관 관계는 연료 이용률에도 영향을 미치는 다른 파라미터로부터 분리될 수 있다. 예를 들어, 주파수(806)에서 가상의 임피던스는 연료 이용률 및 연료 전지 세트로부터 인출된 전류에만 의존할 수 있지만, 온도, 공기 이용률 또는 다른 파라미터에는 의존하지 않을 수 있다.

[0071] 그래프(800)는 EIS 분석기에 의해 주파수의 범위, 예를 들어 전체 주파수 스위프(full frequency sweep)를 하나 이상의 이미 알고 있는 연료 이용률 값의 연료 전지 세트(예를 들어, 연료 전지 모듈, 열 또는 세그먼트)에 적용함으로써 얻어질 수 있다. 연료 이용률 값은 단일 통과 연료 이용률 값일 수 있다. 단일 통과 연료 이용률 값은 연료 전지 세트(즉, 유입 및 재순환된 연료에 기초하여 연료 전지 세트가 국부적으로 경험하는 것)를 통한 연료의 단일 사이클 동안의 연료 이용률을 나타낸다. 단일 통과 연료 이용률은 연료 전지 세트의 입구에 다시급 펌핑된 재순환된 연료(예를 들어, 도 3의 가습된 애노드 배기 스트림 도관(3121)을 통한)와 결합한 연료 전지 세트에 들어가는 신선한 연료(예, 도 3의 연료 입구 라인(329)을 통해 유입되는 연료)의 사용량을 포함할 수 있다. EIS 분석기는 동일한 연료 이용률의 여러 스위프에 걸쳐 온도, 공기 이용률 및 다른 동작 파라미터를 변화시키고 동작 파라미터가 변화되는 동안 연료 전지 세트의 가상 임피던스를 측정할 수 있다. EIS 분석기 또는 제어기는 연료 이용률이 가상 임피던스에 크게 의존하지만 다른 동작 파라미터에는 의존하지 않는 단일 주파수(806)를 결정할 수 있다. 이 단일 주파수(806)는 연료 이용을 위한 값을 얻기 위해 EIS 분석기에 의한 단일 주파수 측정에 사용될 수 있다. 예를 들어, 단일 주파수는 1 Hz와 2 Hz 사이일 수 있다.

[0072] EIS 분석기에 의해 얻어진 데이터를 사용하여 가상 임피던스와 연료 이용률 사이의 관계를 결정하기 위한 회귀 모델이 개발될 수 있다. 예를 들어, 모델은 입력으로서 하나의 특정 주파수에서 연료 전지 세트에 대한 가상 임피던스와 상기 연료 전지 세트에서 인출한 전류를 치할 수 있다. 이 주파수에서, 연료 전지 세트의 연료 이용률은 가상 임피던스 및 전류에 크게 의존하지만, 다른 동작 파라미터에는 의존하지 않는다. 회귀 모델의 출력은 백분율로 표현되는 단일 통과 연료 이용률 일 수 있다. 회귀 모델에서 파생된 등식의 예는 다음과 같다:

[0073] 
$$SPU = a1 + (b1 * I) + \left( \left( \frac{c1}{N} \right) * (-Zi) + ((-Zi - (c2 * N)) * (I - b2)) * \left( -\frac{a2}{N} \right) \right)$$

[0074] 여기서, SPU는 연료 전지 세트에 대한 백분율의 단일 통과 연료 이용률이며, I는 암페어 단위의 연료 전지 세트에서 유도된 전류이며, Zi는  $\Omega \cdot \text{cm}^2$  단위의 가상 임피던스이며, N은 상기 연료 전지 세트의 연료 전지들의 개수이고, a1, b1, c1, a2, b2 및 c2는 특정 연료 전지 시스템에 의존하는 상수이다. 연료 전지 세트에 대한 유도된 연료 이용률은 증배율을 사용함으로써 전체 연료 전지 시스템 또는 연료 전지 시스템 내의 연료 전지의 서브 세트에 외삽(extrapolated)될 수 있다.

[0075] 회귀 모델 및 등식이 결정된 후, 가상 임피던스와 연료 이용률 사이의 관계는 연료 전지 시스템의 제어기의 메모리에 록업 테이블, 그래프 또는 다른 유형의 데이터로서 저장될 수 있다. 따라서, 특정 주파수에서의 가상의 임피던스를 연료 이용률과 관련시키는 회귀 모델이 각각의 특정 유형의 연료 전지 시스템에 대해 개발되어 저장될 수 있다. 그 후, 데이터는 연료 전지 시스템의 단일 주파수 EIS 측정에 의해 현재의 연료 이용률 값을 얻는 데 사용될 수 있다. 이는 연료 전지 시스템이 연료 전지 시스템의 현재 연료 전지 이용률을 동적으로 추정하여 그에 따라 작용하게 한다.

[0076] 도 9는 연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법(900)을 도시한다. 방법(900)은 연료 전지 시스템, 예를 들어, 도 4의 제어기(412) 및/또는 컴퓨터(411)를 제어하는 제어기에 의해 수행될 수 있다. 연료 전지 시스템은 도 4의 EIS 분석기(404)를 갖는 시스템(400)과 같은 EIS 분석기를 포함한다. EIS 분석기는 연료 전지 모듈, 열 또는 세

그먼트와 같은 연료 전지 세트에서 EIS 측정을 수행하도록 구성될 수 있다. 결정된 연료 이용률은 연료 전지 세트에 대한 단일 통과 연료 이용률일 수 있다. 연료 전지 시스템은 또한 매트릭스 스위치(402)를 포함할 수 있다. 그러나, 매트릭스 스위치를 갖거나 갖지 않는 임의의 적합한 EIS 분석기가 방법(900)과 관련하여 사용될 수 있다.

[0077] 블록(902)에서, 제어기는 한 세트의 연료 전지에 적용하기 위해 단일 주파수를 결정할 수 있으며, 연료 전지 세트의 연료 이용률은 단일 주파수에서의 가상 임피던스에 크게 의존한다. 단일 주파수는 도 8을 참조하여 상기 설명된 바와 같이 결정될 수 있다. 예를 들어, EIS 분석기는 다수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값을 위해 연료 전지 세트에 주파수 범위를 적용할 수 있다. EIS 분석기 및 연료 전지 시스템의 제어기는 주파수 범위 내의 각각의 주파수에서 연료 전지 세트의 동작 파라미터를 변화시키고 상기 동작 파라미터가 변화되는 동안 상기 복수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값 각각에 대해 및 주파수 범위 내의 각 주파수에서 연료 전지 세트의 가상 임피던스를 측정할 수 있다. EIS 분석기 또는 제어기는 복수의 이미 알고 있는 연료 이용률 값이 가상 임피던스에 크게 의존하고 동작 파라미터에 낮은 의존성을 갖는 주파수 범위의 주파수로서 단일 주파수를 결정할 수 있다. 단일 주파수는 1 Hz와 2 Hz 사이일 수 있다. 다른 방법으로, 단일 주파수는 미리 결정되어 메모리에 저장될 수 있으며, 제어기는 단일 주파수를 획득하기 위해 블록(902)에서 메모리를 액세스할 수 있다.

[0078] 블록(904)에서, 제어기는 단일 주파수에서 연료 전지 세트로부터 인출된 전류를 결정할 수 있다. 블록(906)에서, 제어기는 EIS 분석기를 사용하여 가상 임피던스를 측정함으로써 단일 주파수에서 연료 전지 세트의 가상 임피던스를 결정할 수 있다. EIS 분석기는 총 임피던스를 측정하고 임피던스의 허수 성분을 분리함으로써 가상 임피던스 측정을 수행할 수 있다.

[0079] 블록(908)에서, 제어기는 단일 주파수에서의 측정된 가상 임피던스 및 전류로부터 연료 전지 세트의 연료 이용률 또는 농도 분극을 결정할 수 있다. 제어기는 가상 임피던스와 연료 이용률 간의 관계를 정의하는 회귀 모델 또는 회귀 모델에서 파생된 데이터의 모든 형태(예, 그래프 또는 룩업 테이블)를 활용할 수 있다. 결정된 연료 이용률은 연료 전지 세트에 대한 단일 통과 연료 이용률일 수 있다. 대안 적으로, 제어기는 연료 전지 세트의 연료 이용률 또는 농도 분극을 결정하지 않고 대신에 측정된 가상 임피던스를 사용하여 정정 동작이 필요한지를 결정한다(즉, 블록(908)에서 동작을 건너뛴다).

[0080] 결정 블록(910)에서, 제어기는 유도된 연료 이용률 또는 농도 분극이 임계값을 넘는지를 결정할 수 있다. 임계값은 바람직하지 않은 농도 분극 또는 전압 손실 수준을 나타낼 수 있다. 선택적으로, 제어기는 결정 블록(910)에서 측정된 가상 임피던스가 임계값과 교차하는지를 결정할 수 있다(즉, 가상 임피던스로부터 연료 이용률 또는 농도 분극으로의 변환을 건너뛴다). 유도된 연료 이용률, 농도 분극 또는 가상 임피던스가 임계값을 넘지 않는다는 판단에 대응하여(즉, 결정 블록(910) = "아니오"), 제어기는 블록(904 및 906)에서 연료 전지 세트의 가상 전류 임피던스 및 출력 전류(즉, 연료 전지 세트로부터 인출된 전류)를 계속 측정할 수 있다 즉, 제어기는 임계값 아래로 떨어질 때까지 연료 이용값을 계속 모니터링할 수 있다.

[0081] 유도된 연료 이용률, 농도 분극 또는 가상 임피던스가 임계값을 넘었다고 결정한 것에 응답하여(즉, 결정 블록(910) = "예"), 제어기는 블록(912)에서 정정 동작을 개시할 수 있다. 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(recovery sequence)를 개시하고, 연료 전지 시스템에 공급되는 연료를 변화시키고(예를 들어, 도 3의 애노드 재순환 송풍기(3123)의 출력을 증가시킴으로써 재생된 연료의 양 및/또는 연료 전지 세트에 공급되는 연료의 양을 증가), 연료 전지 세트로부터의 출력 전류(예를 들어, 입력 공기의 양을 변화시키기 위해 송풍기의 속도를 변화시키는 것과 같은, 도 3에 도시된 구성요소들)를 조정하고, 및/또는 운전자가 조치를 취할 수 있도록 경보를 울리는 것을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 방법(900)은 연료 전지 세트의 연료 이용률을 동적으로 추정하는 방법을 제공하고, 농도 분극으로 인한 과도한 전압 손실을 상쇄시키는데 필요한 경우 정정 동작을 취한다.

[0082] EIS 측정은 또한 연료 전지 시스템의, 옴 저항 및 옴 분극으로 인한 전압 손실을 추정에 사용할 수 있다. 본원에 기술된 다양한 실시형태는 제한된 주파수 범위 EIS 측정만을 사용하여 연료 전지 시스템에서 하나 이상의 연료 전지의 옴 저항을 측정하는 방법을 개시한다. 연료 전지 시스템의 옴 저항은 연료 전지의 임피던스의 실수 성분, 연료 전지의 온도, 공기 이용률 및 다양한 다른 동작 파라미터를 포함하는 다수의 변수에 의존할 수 있다. 따라서, 연료 전지의 임피던스는 EIS 분석기에 의해 연료 전지에 인가되는 주파수를 변화시킴으로써 변화될 수 있지만, 옴 저항에 영향을 미치는 다른 파라미터와 옴 저항에 대한 임피던스의 영향을 분리하는 것이 어려울 수 있다.

[0083] 도 10은 EIS 분석기에 의해 연료 전지 세트(예를 들어, 연료 전지 모듈, 열 또는 세그먼트)에 인가된 주파수, 및 각각의 연료 전지의 활성 영역으로 곱셈된 EIS 분석기에 의해 측정된 실제 임피던스의 대응하는 값을 플로팅

(plot)하는 로그 그래프(1000)를 도시한다. 제한된 주파수 범위(1002)(예를 들어, 10 Hz와 1 kHz 사이)에서, 실제 임피던스 대 주파수의 플롯은 소정의 기울기를 갖는다. 그러나, 상이한 주파수 범위(1004)(예를 들어, 1kHz 내지 100kHz)는 연료 전지 시스템의 정상 상태 동작 동안 관심의 주파수 범위일 수 있다. 관심 주파수 범위(1004)에서, 실제 임피던스 대 주파수의 기울기는 제한된 주파수 범위(1002)에서의 기울기와 유사할 수 있다. 보다 낮은 주파수에서 EIS 임피던스 측정을 얻는 것이 더 쉬울 수 있으므로, 예를 들어 대수에 적합한 등식(logarithmic fit equation)의 외삽에 의해, 관심 있는 주파수 범위(1004)에서 실제 임피던스에 대한 정보를 얻기 위해 제한된 주파수 범위(1002)에서 플롯의 기울기를 사용할 수 있다. 예를 들어, EIS 측정은 연료 전지가 전개된 분야에 위치한 DC/DC 변환기에서 연료 전지상에 대해서만 수행될 수 있다. EIS 분석기는 DC/DC 변환기 전지에서 제한된 주파수 범위(1002) 내에서만 측정할 수 있으므로 본 분야에서 관심 있는 주파수 범위(1004)를 측정할 수 없다.

[0084] 제한된 주파수 범위(1002)는 EIS 분석기를 사용하여 넓은 주파수 스위프(wide frequency sweep)를 통해 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 플로팅함으로써 얻어질 수 있다. 제한된 주파수 범위는 실제 임피던스 대 주파수의 기울기가 관심 주파수 범위의 주파수 대 실제 임피던스의 기울기와 실질적으로 동일한 주파수 범위일 수 있다. 제한된 주파수 범위(1002)에서, 연료 전지 세트의 실제 임피던스는 연료 이용률 및 공기 이용률과 같은 연료 전지 시스템의 동작 파라미터에 낮은 의존성을 가질 수 있다. 연료 전지 시스템의 제어기는 제한된 주파수 범위(1002)에 걸쳐 실제 임피던스 측정치를 이용하여 관심 있는 주파수 범위(1004)의 주파수에 대한 실제 임피던스 및 옴 저항을 결정할 수 있다.

[0085] 제어기는 특정 주파수 범위에 대한 EIS 분석기에 의해 측정된 실제 임피던스와 특정 주파수 범위 외의 주파수에 대한 실제 임피던스 사이의 관계를 결정할 수 있다. 제어기는 제한된 주파수 범위(1002)의 주파수와 실제 임피던스 사이의 관계를 설명하는 로그 또는 리니어 피트(log or linear fit) 등식을 도출할 수 있다. 특정 기울기를 갖는 이 등식은 관심 있는 주파수 범위(1004)에서 주파수에 대한 실제 임피던스를 추정하는데 사용될 수 있다. 로그 피트(log fit) 등식의 일례가 아래에 도시된다 :

[0086] 
$$Zr = s * \ln(f) + b$$

[0087] 여기서, Zn은 실제 임피던스이고, f는 Hz 단위의 주파수이며, s 및 b는 특정 연료 전지 시스템에 의존하는 상수이다. 상수 s는 제한된 주파수 범위(1002)에서 주파수와 실제 임피던스 사이의 플롯의 기울기를 나타낸다. 제한된 주파수 범위(1002)의 기울기는 관심 주파수 범위(1004)의 기울기와 실질적으로 유사할 수 있으므로, 상기 등식은 1004 주파수 범위에서 EIS 측정을 수행하지 않고 관심 있는 주파수 범위 1004에서 주파수의 실제 임피던스를 결정하는 데 사용된다.

[0088] 또한, 도 11은 연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법(1100)을 도시한다. 방법(1100)은 연료 전지 시스템, 예를 들어, 도 4의 제어기(412) 및/또는 컴퓨터(411)를 제어하는 제어기에 의해 수행될 수 있다. 연료 전지 시스템은 도 4의 EIS 분석기(404)를 갖는 시스템(400)과 같은 EIS 분석기(404)를 포함한다. EIS 분석기는 연료 전지 모듈, 열 또는 세그먼트와 같은 연료 전지 세트에서 EIS 측정을 수행하도록 구성될 수 있다. 연료 전지 시스템은 또한 매트릭스 스위치(402)를 포함할 수 있다. 그러나, 매트릭스 스위치를 갖거나 갖지 않는 임의의 적합한 EIS 분석기가 방법(1100)과 함께 사용될 수 있다.

[0089] 블록(1102)에서, 제어기는 제 1 주파수 범위를 결정하여 연료 전지 세트에 적용할 수 있다. 제 1 주파수 범위의 주파수 대 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기는 제 1 주파수 범위 밖의 제 2 주파수 범위의 주파수 대 연료 전지 세트의 실제 임피던스의 기울기와 실질적으로 동일할 수 있다. 제 1 주파수 범위는 예를 들어 10 Hz에서 1000 Hz 사이의 제한된 저 주파수 범위일 수 있다. 제 2 주파수 범위는 보다 높은 주파수 범위, 예를 들어 1000 Hz와 100,000 Hz 사이일 수 있다. 제 1 주파수 범위는 도 10을 참조하여 전술한 바와 같이 결정될 수 있다. 즉, 제 1 주파수 범위는 EIS 분석기를 사용하여 넓은 주파수 스위프(sweep)를 통해 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 플로팅(plotting)한 후, 보다 높은 주파수와 실질적으로 유사한 실제 임피던스 기울기를 갖는 저 주파수 범위를 선택함으로써 얻어질 수 있다. 대안적으로, 제 1 주파수 범위는 미리 결정되어 메모리에 저장될 수 있으며, 제어기는 블록(1102)에서 메모리에 액세스하여 제 1 주파수 범위를 획득할 수 있다.

[0090] 블록(1104)에서, 제어기는 EIS 분석기를 사용하여 실제 임피던스를 측정함으로써 제 1 주파수 범위에 걸쳐 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 결정할 수 있다. EIS 분석기는 총 임피던스를 측정하고 임피던스의 실수 성분을 분리함으로써 실제 임피던스 측정을 수행할 수 있다.

[0091] 블록(1106)에서, 제어기는 제 1 주파수 범위에 걸쳐 측정된 실제 임피던스로부터 제 1 주파수 범위 외부의 관심

주파수에 대한 연료 전지 세트의 오믹 저항 또는 오믹 분극을 결정할 수 있다. 제어기는 연료 전지 세트의 오믹 저항과 주파수 사이의 관계를 결정하기 위해 전술한 바와 같은 로그 또는 리니어 피트(log or linear fit) 등식을 이용할 수 있다. 예를 들어, 제 1 주파수 범위에 걸쳐 측정된 실제 임피던스는 로그 피트(log fit) 등식을 유도하는데 사용될 수 있는데, 등식의 기울기는 실제 임피던스와 제 1 주파수 범위 외부의 주파수, 특히 관심 주파수 사이의 관계의 기울기와 실질적으로 유사하다. 관심 주파수는 제 2 주파수 범위 내에 있을 수 있다. 제 1 주파수 범위는 상기 분야에서 EIS 분석기에 의해 측정될 수 있는 주파수 범위 일 수 있고, 제 2 주파수 범위는 오믹 분극이 결정될 수 있는 주파수 범위일 수 있다. 제어기는 또한 측정된 실제 임피던스로부터 연료 전지 세트의 오믹 저항을 결정하기 위해 그래프 또는 룩업 테이블과 같은 로그 피트(log fit) 등식으로부터 유도된 임의의 형태의 데이터를 이용할 수 있다. 대안적으로, 제어기는 연료 전지 세트의 오믹 저항 또는 오믹 분극을 결정하지 않고 대신에 측정된 실제 임피던스를 사용하여 정정 동작이 필요한지 여부를 결정한다(즉, 블록(1106)에서 동작을 건너뛴).

[0092] 결정 블록(1108)에서, 제어기는 유도된 오믹 저항 또는 오믹 분극이 임계값을 교차하는지를 결정할 수 있다. 임계값은 바람직하지 않은 오믹 분극 또는 전압 손실 수준을 나타낼 수 있다. 다른 방법으로 제어기는 결정 블록(1108)에서 측정된 실제 임피던스가 임계값을 넘는지를 결정할 수 있다(즉, 실제 임피던스로부터 오믹 저항 또는 오믹 편광으로의 변환을 건너뛴). 유도된 오믹 저항, 오믹 분극 또는 실제 임피던스가 상기 임계값을 넘지 않는다고 판단하는 경우에 대응하여(즉, 결정 블록(1108) = "아니오"), 제어기는 블록(1104)에서 연료 전지 세트의 실제 임피던스를 계속 측정할 수 있다. 다시 말해서, 제어기는 그것이 임계값을 넘을 때까지 오믹 저항 값을 계속 모니터링할 수 있다.

[0093] 유도된 오믹 저항, 오믹 분극 또는 실제 임피던스가 임계값을 넘었다는 결정에 응답하여(즉, 결정 블록 1108 = "예"), 제어기는 블록(1110)에서 정정 동작을 개시할 수 있다. 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(recovery sequence)를 개시하고, 연료 전지 시스템에 공급되는 연료를 변화시키고, 연료 전지 세트로부터의 출력 전류를 변화시키고, 연료 전지 시스템에서 다양한 구성요소들을 조정하고(예를 들어, 입력 공기의 양을 변화시키기 위해 송풍기의 속도를 변화시키는 것과 같은, 도 3에 도시된 구성요소들) 및/또는 운전자가 조치를 취할 수 있도록 경보를 울리는 것을 포함할 수 있다. 일부 실시형태들에서, 방법(1100) 및 방법(900)은 동시에 수행될 수 있다(즉, 연료 이용률 및 오믹 저항 모두는 EIS 임피던스 측정으로부터 결정될 수 있다).

[0094] 또한, 도 12는 연료 전지 시스템을 모니터링하는 방법(1200)을 도시한다. 방법(1200)은 연료 전지 시스템, 예를 들어, 도 4의 제어기(412) 및/또는 컴퓨터(411)를 제어하는 제어기에 의해 수행될 수 있다. 연료 전지 시스템은 도 4의 EIS 분석기(404)를 갖는 시스템(400)과 같은 EIS 분석기(404)를 포함한다. EIS 분석기는 연료 전지 모듈, 열 또는 세그먼트와 같은 연료 전지 세트에서 EIS 측정을 수행하도록 구성될 수 있다. 연료 전지 시스템은 또한 매트릭스 스위치(402)를 포함할 수 있다. 그러나, 매트릭스 스위치를 갖거나 갖지 않는 임의의 적합한 EIS 분석기가 방법(1200)과 관련하여 사용될 수 있다.

[0095] 블록(1202)에서, 제어기는 전기화학 임피던스 분광학을 사용하여 연료 전지 세트의 임피던스를 결정할 수 있다. 측정은 단일 주파수 및/또는 주파수들의 하위 범위에서 이루어질 수 있다. 연료 전지 세트의 농도 분극은 단일 주파수에서의 가상 임피던스에 의존할 수 있지만, 연료 전지 세트의 오믹 분극은 임피던스의 실수 성분과 상기 하위 범위의 주파수들 사이의 관계로부터 결정된다.

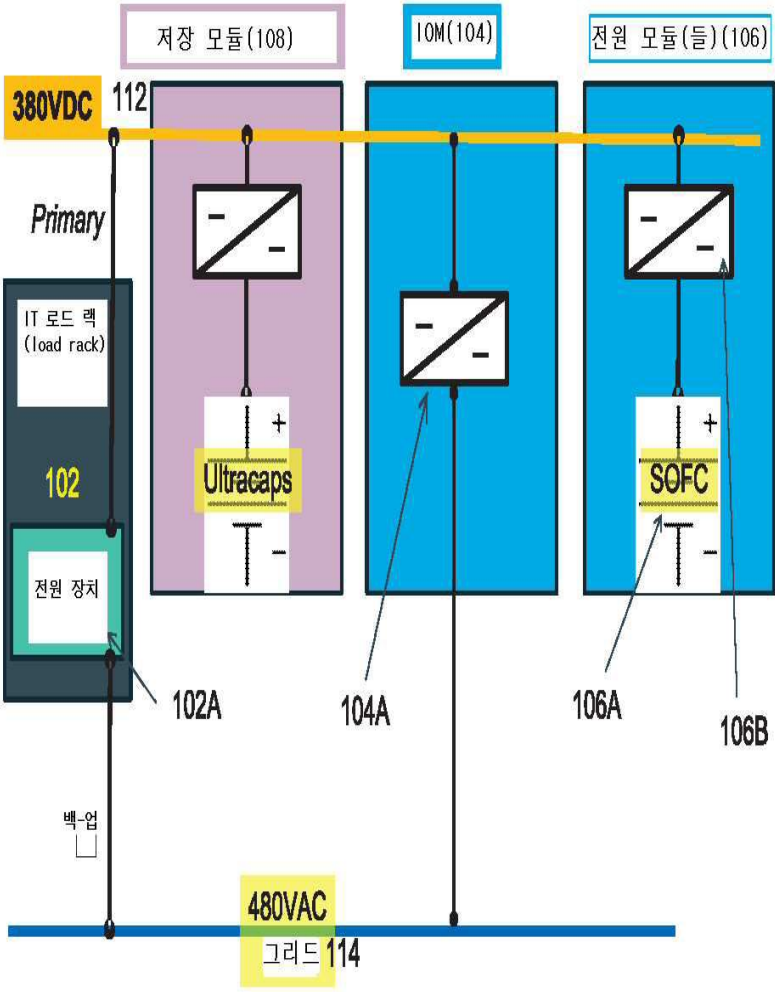
[0096] 블록(1204)에서, 제어기는 결정된 임피던스로부터 연료 전지 세트의 오믹 분극 및 농도 분극을 결정할 수 있다. 농도 분극은 단일 주파수에서 결정된 임피던스의 허수 성분으로부터 결정될 수 있다. 예를 들어, 제어기는 허수 임피던스와 농도 분극 사이의 관계를 정의하는 회귀 모델 또는 회귀 모델(예, 그래프 또는 조화 테이블)에서 파생된 데이터 형식을 사용할 수 있다. 오믹 분극은 주파수들의 하위 범위에서 결정된 임피던스의 실수 성분으로부터 결정될 수 있다. 예를 들어, 제어기는 그래프 및 룩업 테이블과 같은 로그 피트(log fit) 등식으로부터 도출된 데이터의 임의의 형태 또는 연료 전지 세트의 오믹 분극과 주파수 사이의 관계를 결정하기 위해 적합한 등식을 이용할 수 있다.

[0097] 결정 블록(1206)에서, 제어기는 오믹 분극을 제 1 임계값과 비교하고 농도 분극을 제 2 임계값과 비교하여 각 파라미터가 각각의 임계값을 넘는지를 결정할 수 있다. 제 1 임계값은 바람직하지 않은 오믹 분극 또는 전압 손실 레벨을 나타낼 수 있고, 제 2 임계값은 바람직하지 않은 농도 분극 또는 전압 손실 레벨을 나타낼 수 있다. 오믹 분극 또는 농도 분극이 각각의 임계값을 넘지 않는다는(즉, 결정 블록 1206 = "아니오") 것으로 결정한 것에 응답하여, 제어기는 연료 전지 세트의 임피던스를 결정하기를 계속할 수 있다. 즉, 제어기는 어느 하나가 각각의 임계값을 넘을 때까지 오믹 분극 및 농도 분극을 계속 모니터링할 수 있다.

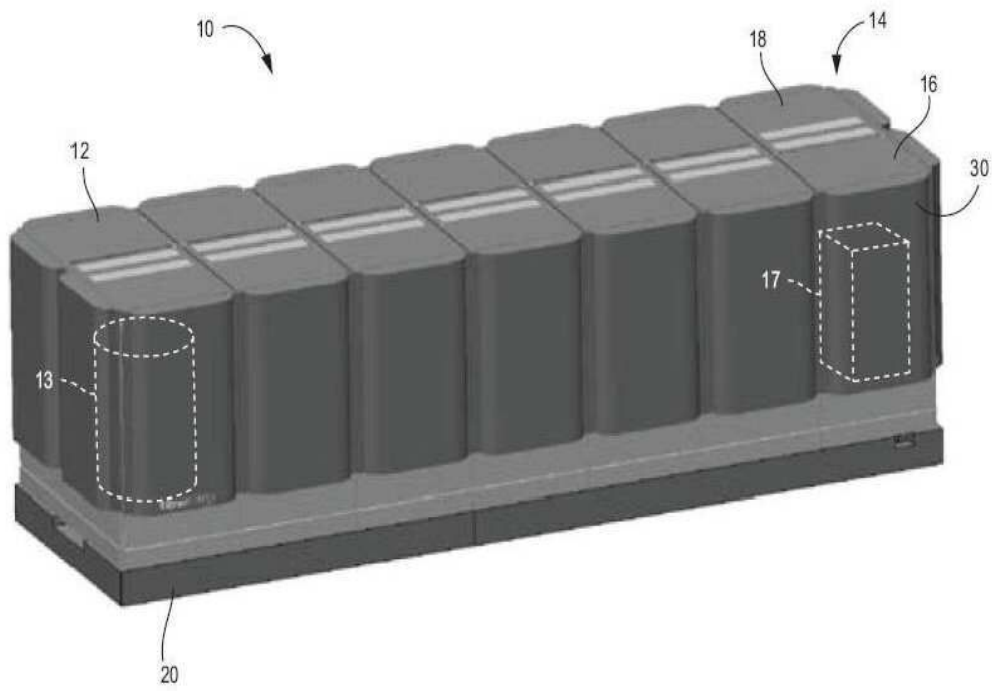
- [0098] 오믹 분극 또는 농도 분극 중 하나 또는 양자 모두가 각각의 임계값을 넘었다고 결정한 것에 응답하여(즉, 결정 블록(1206) = "예"), 제어기는 블록(1208)에서 정정 동작을 개시할 수 있다. 정정 동작은 스택 회복 시퀀스(recovery sequence)를 개시하고, 연료 전지 시스템에 공급되는 연료를 변화시키고(예를 들어, 도 3의 애노드 재순환 송풍기(3123)의 출력을 증가시킴으로써 재생된 연료의 양 및/또는 연료 전지 세트에 공급되는 연료의 양을 증가), 연료 전지 세트로부터의 출력 전류를 변화시키고, 연료 전지 시스템에서 다양한 구성요소들을 조정하고(예를 들어, 입력 공기의 양을 변화시키기 위해 송풍기의 속도를 변화시키는 것과 같은, 도 3에 도시된 구성요소들), 및/또는 운전자가 조치를 취할 수 있도록 경보를 울리는 것을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 방법(1200)은 연료 전지 세트의 오믹 분극 및 농도 분극을 동적으로 추정하는 방식을 제공하고 오믹 또는 농도 분극으로 인한 과도한 전압 손실을 상쇄시키는데 필요한 경우 정정 동작을 취한다.
- [0099] 이전의 방법 설명들 및 도면들은 단지 예시적인 예로서 제공되고, 다양한 실시예들의 단계들이 표현된 순서로 수행되어야 한다는 것을 요구하거나 암시하도록 의도되지 않는다. 당업자에 의해 인식되는 바와 같이, 이전의 실시예들에서 단계들의 순서는 임의의 순서로 수행될 수 있다. 더욱이, "그 후에", "그런 후에", "다음으로", 등과 같은 단어들은 단계들의 순서를 제한하도록 의도되지 않는다; 이들 단어들은 방법들의 설명을 통해 독자를 안내하는데 간단히 사용된다.
- [0100] 하나 이상의 도면들은 예시적인 실시예들을 기재하는데 사용되었다. 도면들의 이용은 수행된 동작들의 순서에 대해 제한하는 것으로 의미하지 않는다. 예시적인 실시예들의 이전 설명은 예시 및 설명을 위해 표현되었다. 개시된 정확한 형태에 관해 배타적이거나 제한되는 것으로 의도되지 않고, 변형들 및 변경들은 상기 가르침들에 관해 가능하거나, 개시된 실시예들의 실시로부터 획득될 수 있다. 본 발명의 범주가 이에 첨부된 청구항들 및 그 등가물들에 의해 한정되도록 의도된다.
- [0101] 제어 요소들은 프로세서들, 메모리 및, 특정 기능들을 수행하기 위해 지령들로 프로그래밍된 다른 구성요소들을 포함하는 컴퓨팅 디바이스들(컴퓨터와 같은)을 이용하여 구현될 수 있거나, 특정 기능들을 수행하도록 설계된 프로세서들에서 구현될 수 있다. 프로세서는 본 명세서에 기재된 다양한 실시예들의 기능들을 포함하는 다양한 기능들을 수행하기 위해 소프트웨어 지령들(어플리케이션들)에 의해 구성될 수 있는 임의의 프로그래밍가능 마이크로프로세서, 마이크로컴퓨터 또는 다수의 프로세서 칩 또는 칩들일 수 있다. 몇몇 컴퓨팅 디바이스들에서, 다수의 프로세서들이 제공될 수 있다. 일반적으로, 소프트웨어 어플리케이션들은 프로세서에 액세스되고 로딩되기 전에 내부 메모리에 저장될 수 있다. 몇몇 컴퓨팅 디바이스들에서, 프로세서는 어플리케이션 소프트웨어 지령들을 저장하는 충분한 내부 메모리를 포함할 수 있다.
- [0102] 본 명세서에 개시된 실시예들과 연계하여 기재된 다양한 예시적인 논리 블록들, 모듈들, 회로들, 및 알고리즘 단계들은 전자 하드웨어, 컴퓨터 소프트웨어, 또는 이들의 조합들로서 구현될 수 있다. 하드웨어와 소프트웨어의 이러한 상호 교환성을 명확히 예시하기 위해, 다양한 예시적인 구성요소들, 블록들, 모듈들, 회로들 및 단계들은 그 기능에 관해 일반적으로 위에 기재되었다. 그러한 기능이 하드웨어 또는 소프트웨어로서 구현되는지의 여부는 전체 시스템 상에 부과된 특정 어플리케이션 및 설계 제약들에 따라 좌우된다. 당업자는 각 특정한 어플리케이션에 대해 다양한 방식으로 기재된 기능을 구현할 수 있지만, 그러한 구현 결정들은 본 발명의 범주로부터의 이탈을 야기하는 것으로 해석되지 않아야 한다.
- [0103] 본 명세서에 개시된 양상들과 연계하여 기재된 다양한 예시적인 논리들, 논리 블록들, 모듈들 및 회로들을 구현하는데 사용된 하드웨어는 일반적인 목적의 프로세서, 디지털 신호 프로세서(DSP), 어플리케이션 특정 집적 회로(ASIC), 전계 프로그래밍가능 게이트 어레이(FPGA) 또는 다른 프로그래밍가능 논리 디바이스, 이산 게이트 또는 트랜지스터 논리, 이산 하드웨어 구성요소들, 또는 본 명세서에 기재된 기능들을 수행하도록 설계된 이들의 임의의 조합을 통해 구현되거나 수행될 수 있다. 일반적인 목적의 프로세서는 마이크로프로세서일 수 있지만, 대안에서, 프로세서는 임의의 종래의 프로세서, 제어기, 마이크로제어기, 또는 상태 기계일 수 있다. 프로세서는 또한 컴퓨팅 디바이스들의 조합, 예를 들어 DSP 코어와 연계하여 DSP와 마이크로프로세서, 복수의 마이크로프로세서들, 하나 이상의 마이크로프로세서들, 또는 임의의 다른 그러한 구성으로서 구현될 수 있다. 대안적으로, 몇몇 블록들 또는 방법들은 주어진 기능에 특정한 회로에 의해 수행될 수 있다.
- [0104] 개시된 실시예들의 이전 설명은, 당업자가 기재된 실시예를 이루거나 사용하도록 제공된다. 이들 실시예들에 대한 다양한 변형들은 당업자에게 용이하게 명백할 것이고, 본 명세서에 한정된 일반적인 원리들은 본 개시의 범주에서 벗어나지 않고도 다른 실시예들에 적용될 수 있다. 따라서, 본 발명은 본 명세서에 도시된 실시예들에 제한되도록 의도되지 않고, 본 명세서에 개시된 다음의 청구항들 및 원리들 및 새로운 특징들과 연관되는 가장 넓은 범주로 주어질 것이다.

도면

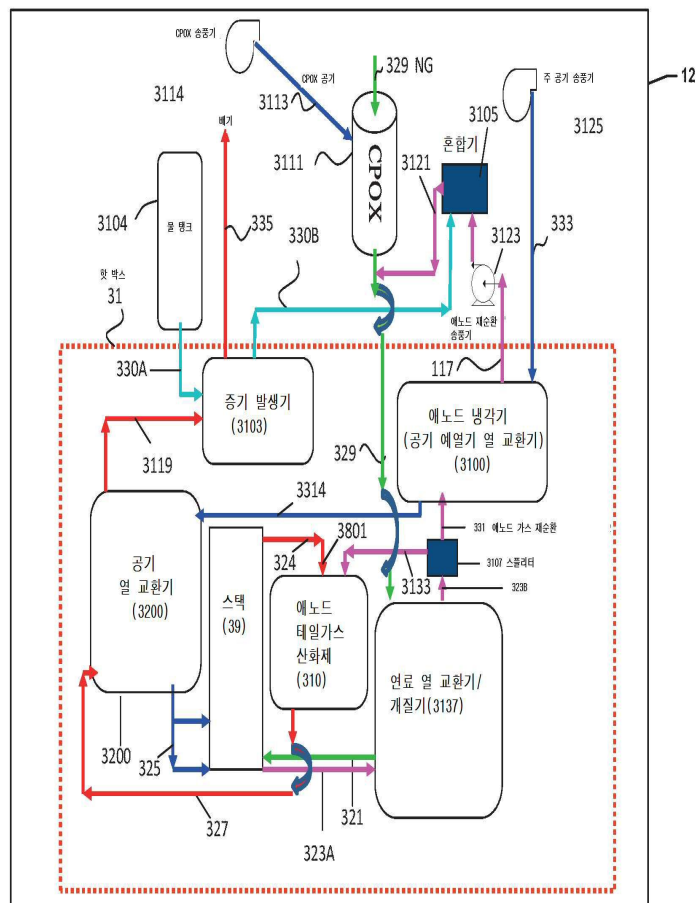
도면1



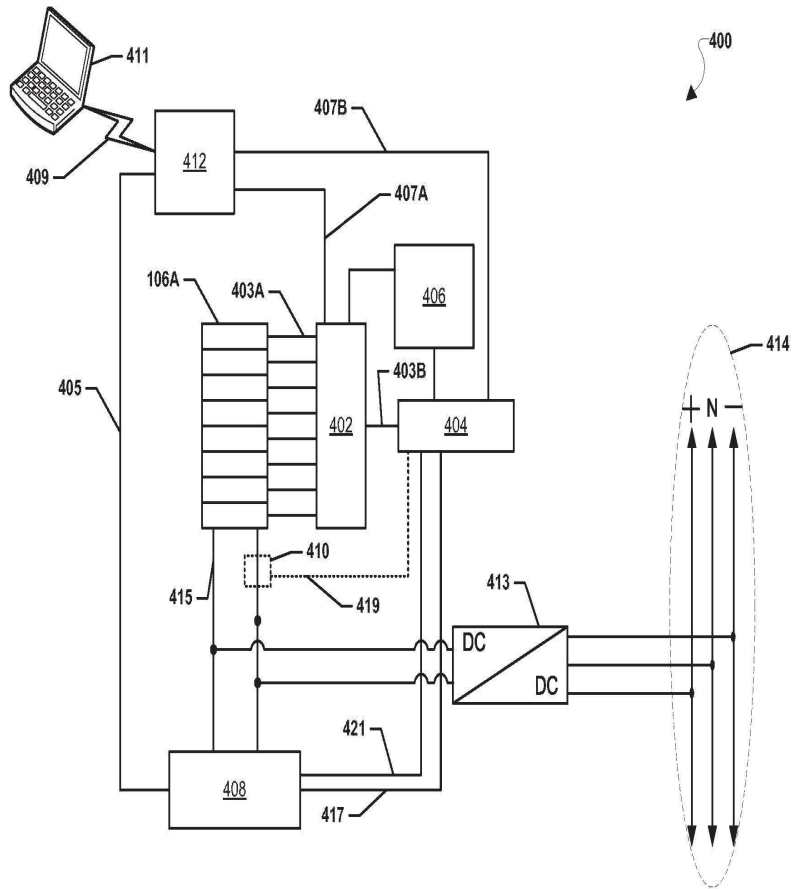
도면2



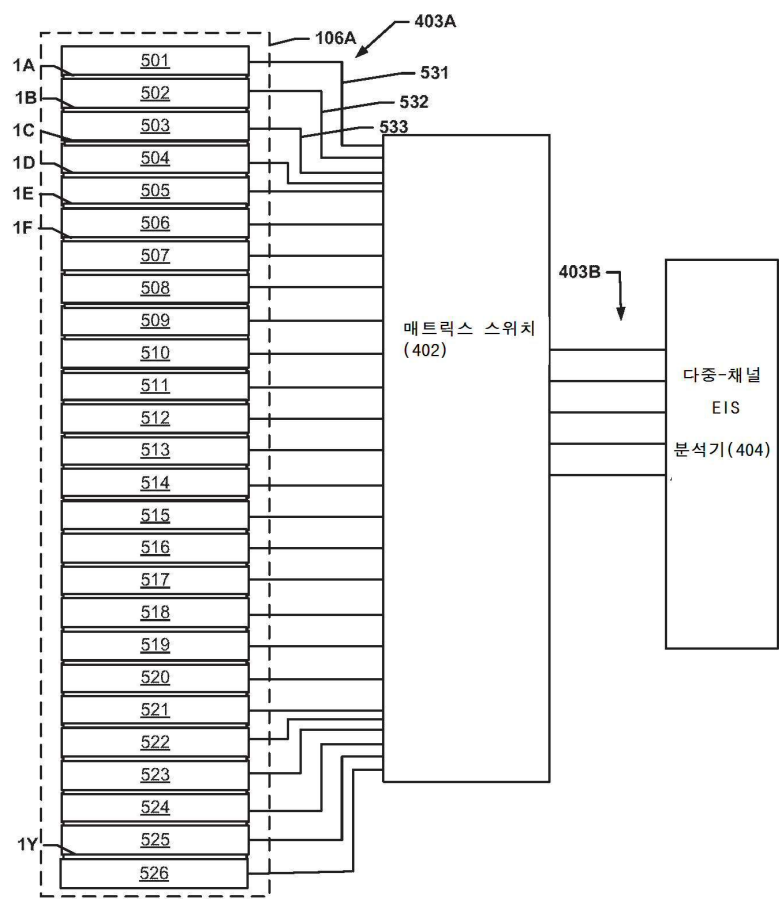
도면3



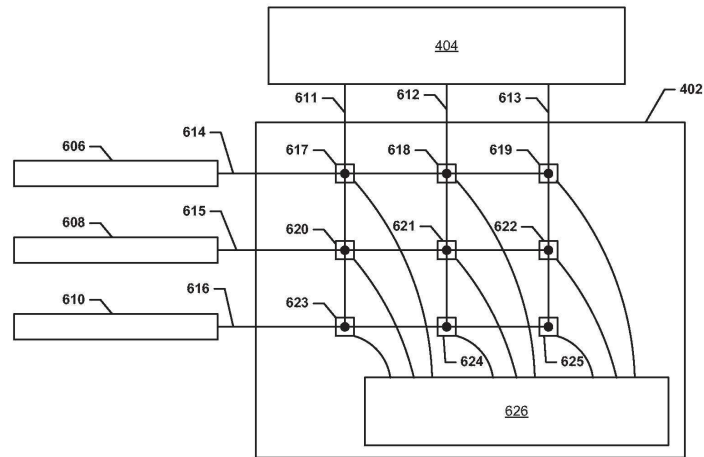
도면4



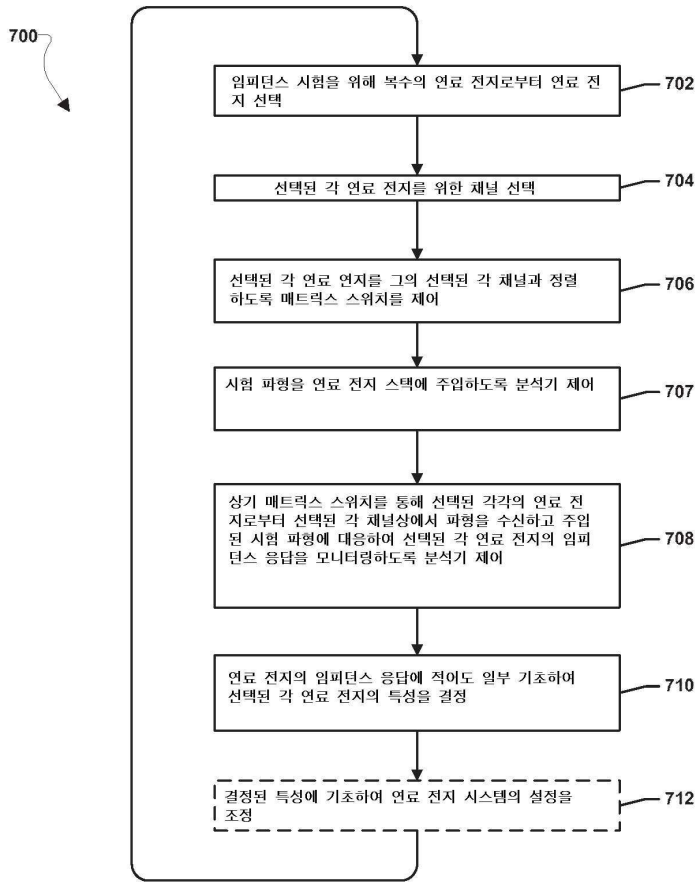
도면5



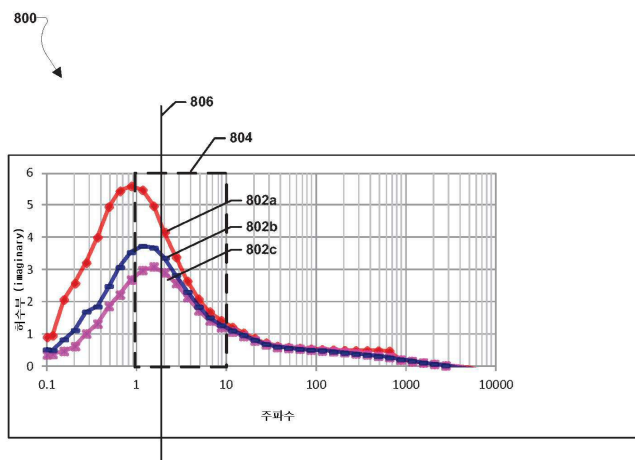
도면6



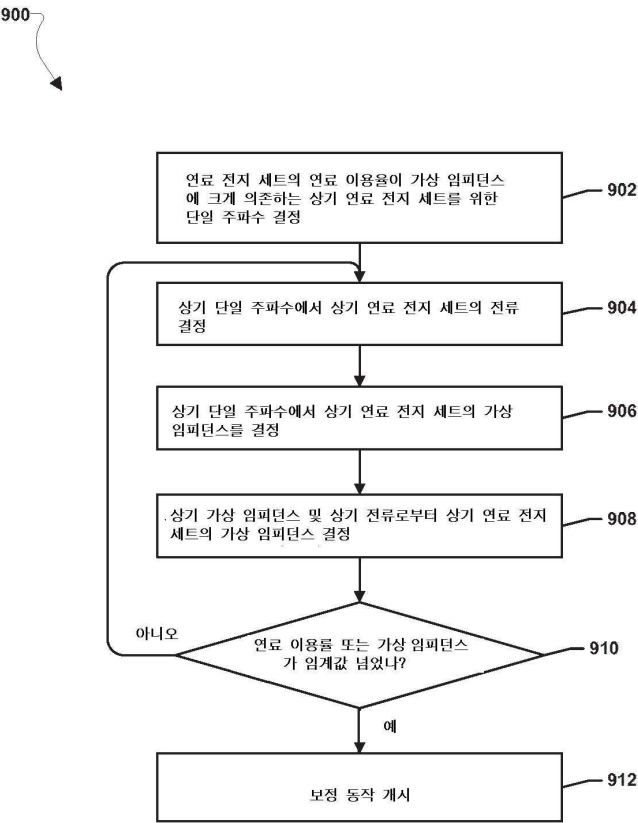
도면7



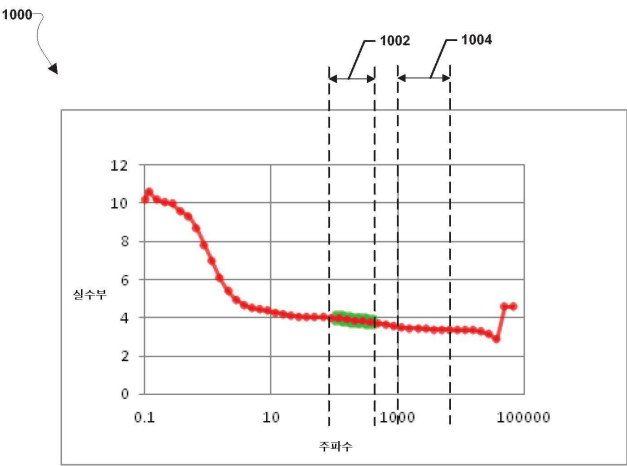
도면8



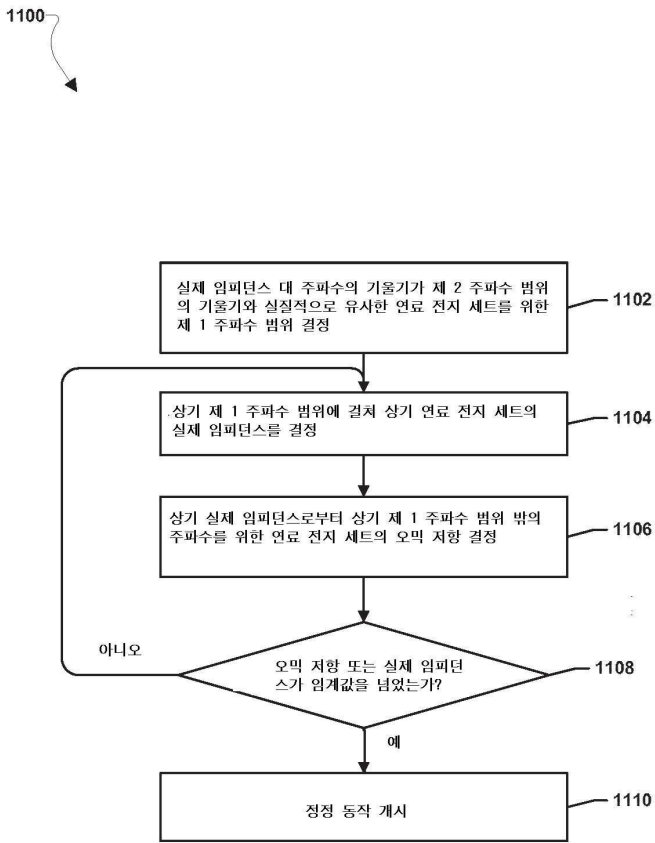
도면9



도면10



도면11



도면12

