



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년08월07일

(11) 등록번호 10-1765983

(24) 등록일자 2017년08월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C25C 3/34 (2006.01) C25C 7/00 (2006.01)

H01R 13/11 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-7016253

(22) 출원일자(국제) 2011년09월29일

심사청구일자 2016년08월12일

(85) 번역문제출일자 2013년06월21일

(65) 공개번호 10-2014-0000287

(43) 공개일자 2014년01월02일

(86) 국제출원번호 PCT/US2011/053871

(87) 국제공개번호 WO 2012/087398

국제공개일자 2012년06월28일

(30) 우선권주장

12/977,839 2010년12월23일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현

US20090152124 A1\*

WO2010080761 A1

US04863580 A

JP2008115455 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문현

(73) 특허권자

지이-히타치 뉴클리어 에너지 어메리카스 엘엘씨

미국 노쓰 캐롤라이나주 28401 월밍턴 캐슬 헤인  
로드 3901

(72) 발명자

윌럿 제임스 엘

미국 노쓰 캐롤라이나주 28402 월밍턴 엠씨  
에이11 피오 박스 780

코엘 유진 알

미국 노쓰 캐롤라이나주 28402 월밍턴 엠씨  
에이11 피오 박스 780

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

제일특허법인

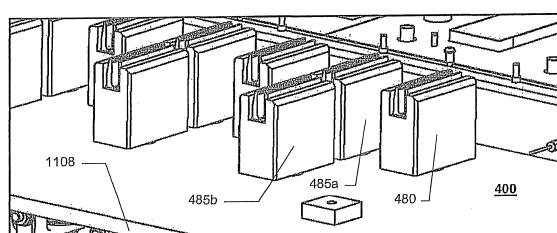
전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 김대영

(54) 발명의 명칭 전기화학적 환원을 위한 애노드-캐소드 배전 시스템 및 그 사용 방법

**(57) 요 약**

전해 환원 시스템에 배전 시스템이 사용될 수 있으며, 이 배전 시스템은 표준화된 연결 구조에서 유연한 모듈형 조립체 개수와 배치를 가능하게 하는 여러 개의 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점을 구비한다. 조립체 접촉이 요구되는 임의의 위치에 전기 접점이 배치될 수 있다. 전기 접점의 착좌 조립체에 부착된 전력 케이블을 거쳐서 전력이 제공될 수 있다. 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점은 임의의 소정 레벨로 전력을 제공할 수 있다. 애노드 및 캐소드 조립체 전기 접점의 쌍은 크기가 같고 극성이 반대인 전력을 제공할 수 있으며, 상이한 캐소드 조립체 전기 접점은 동일한 또는 상이한 모듈형 캐소드 조립체에 상이한 레벨의 전력을 제공할 수 있다. 모듈형 캐소드 및 애노드 조립체가 그 안으로 연장되고 위로부터 지지되는 전해질 용기와 함께 전기 시스템이 사용될 수 있으며, 모듈형 캐소드 및 애노드 조립체는 배전 시스템의 각각의 접점에 기계적으로 및 전기적으로 연결된다.

**대 표 도 - 도5**

(72) 발명자

위드마이어 스템리 지

미국 노쓰 캐롤라이나주 28402 월밍턴 엠씨 에이11  
피오 박스 780

반즈 로렐 에이

미국 노쓰 캐롤라이나주 28402 월밍턴 엠씨 에이11  
피오 박스 780

---

월리엄슨 마크 에이

미국 노쓰 캐롤라이나주 28402 월밍턴 엠씨 에이11  
피오 박스 780

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

배전 시스템(400)에 있어서,

각각 동일한 물리적 구조를 갖는 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b), 및

각각 동일한 물리적 구조를 갖는 복수의 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)을 포함하며,

상기 캐소드 조립체 전기 접점 중 적어도 하나의 접점과 상기 애노드 조립체 전기 접점 중 대응 접점은 크기가 같고 극성이 반대인(equal and opposite) 전력을 제공하고,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b)은 동일한 캐소드 조립체(1300)에 전기적으로 연결되도록 구성된 적어도 두 개의 캐소드 조립체 접점을 포함하며, 상기 적어도 두 개의 캐소드 조립체 접점은 상이한 전력 레벨을 제공하는

배전 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b)과 상기 복수의 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)은 칼날 전기 접점을 기계적으로 수용하기 위해 포크 형상을 갖는

배전 시스템.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 두 개의 캐소드 조립체(1300) 접점(485a, b)은 칼날 전기 접점을 기계적으로 수용하기 위해 포크 형상을 가지며, 상기 적어도 두 개의 캐소드 조립체 접점은 상기 동일한 캐소드 조립체(1300)의 칼날 전기 접점을 수용하기 위해 병렬 배치되는

배전 시스템.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b)의 각각은 상기 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)의 각각과 교호적으로 배치되는

배전 시스템.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b)과 상기 복수의 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)은 각각 절연 커버, 및 전기 접점에 연결되는 착좌 조립체(450)를 포함하는

배전 시스템.

**청구항 7**

전해 산화물 환원 시스템(1000)에 있어서,

전해질을 수용하는 전해질 용기(1050);

상기 전해질 용기 위에 지지되고 전해질 내로 연장되는 적어도 하나의 모듈형 캐소드 조립체(1300);

상기 모듈형 캐소드 조립체의 측면에 제공되는 적어도 하나의 모듈형 애노드 조립체(1200);

각각 상기 적어도 하나의 모듈형 캐소드 조립체와의 기계적 및 전기적 연결을 가능하게 하는 동일한 물리적 구조를 갖는 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b); 및

각각 상기 적어도 하나의 모듈형 애노드 조립체와의 기계적 및 전기적 연결을 가능하게 하는 동일한 물리적 구조를 갖는 복수의 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)을 포함하고,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b)은 상기 모듈형 캐소드 조립체들 중 동일한 하나의 모듈형 캐소드 조립체에 전기적으로 접속되도록 구성된 적어도 두 개의 캐소드 조립체 접점(485a, b)을 포함하며, 상기 적어도 두 개의 캐소드 조립체 접점은 상이한 전력 레벨을 제공하는

전해 산화물 환원 시스템.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서,

상기 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b) 중 적어도 하나의 접점과 상기 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480) 중 대응 접점은 상기 모듈형 애노드 조립체 및 상기 모듈형 캐소드 조립체에 크기가 같고 극성이 반대인 전력을 제공하는

전해 산화물 환원 시스템.

**청구항 9**

제 7 항에 있어서,

상기 모듈형 애노드 조립체는,

애노드 봉(210)이 착좌하고 전기 접속되는 애노드 블록(286),

상기 애노드 블록에 전력을 제공하는 버스(280), 및

상기 애노드 블록을 상기 버스에 전기적으로 결합시키는 슬립 조인트(285)를 포함하는

전해 산화물 환원 시스템.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 버스(280)는 상기 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480) 중 하나에 전기적으로 및 기계적으로 연결되기 위해 모듈형 애노드 조립체 채널 프레임(201)으로부터 연장되는 칼날 접점을 포함하는

전해 산화물 환원 시스템.

**청구항 11**

제 9 항에 있어서,

상기 슬립 조인트(285)는, 제 2 방향으로 적어도 하나의 다른 측방 부재와의 전기 접촉을 유지한 채 각각의 다른 측방 부재에 대해 제 1 방향으로 이동 가능한 복수의 측방 부재를 포함하는

전해 산화물 환원 시스템.

**청구항 12**

제 7 항에 있어서,

상기 복수의 캐소드 조립체(1300) 전기 접점(485a, b) 및 상기 복수의 애노드 조립체(1200) 전기 접점(480)은 각각 상기 모듈형 애노드 조립체들 중 하나와 상기 모듈형 캐소드 조립체들 중 하나로부터 칼날 전기 접점을 기계적으로 수용하기 위해 포크 형상을 갖는

전해 산화물 환원 시스템.

### 청구항 13

삭제

### 청구항 14

전해 산화물 환원 시스템(1000)을 작동시키는 방법에 있어서,

복수의 모듈형 애노드 조립체(1200)를 복수의 애노드 조립체 전기 접점(480)에 연결하는 단계로서, 각각의 모듈형 애노드 조립체는 적어도 하나의 애노드 봉(210), 및 상기 애노드 봉에 전력을 제공하는 전기 시스템을 포함하는, 복수의 모듈형 애노드 조립체 연결 단계;

복수의 모듈형 캐소드 조립체(1300)를 복수의 캐소드 조립체 전기 접점(485a, b)에 연결하는 단계로서, 각각의 모듈형 캐소드 조립체는 금속 산화물, 및 상기 모듈형 캐소드 조립체에 전력을 제공하는 전기 시스템을 포함하는, 복수의 모듈형 캐소드 조립체 연결 단계;

상기 애노드 조립체 전기 접점을 통해서 상기 복수의 모듈형 애노드 조립체에 전력을 인가하는 단계; 및

상기 금속 산화물을 환원시키기 위해 상기 캐소드 조립체 전기 접점을 통해서 상기 복수의 모듈형 캐소드 조립체에 전력을 인가하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 모듈형 캐소드 조립체(1300)에 전력을 인가하는 단계는 상기 복수의 모듈형 캐소드 전기 접점의 제 1 서브세트에 제 1 레벨의 전력을 인가하고 상기 복수의 모듈형 캐소드 전기 접점의 제 2 서브세트에 제 2 레벨의 전력을 인가하는 단계를 포함하고, 상기 제 1 서브세트 중 적어도 하나의 모듈형 캐소드 전기 접점 및 상기 제 2 서브세트 중 하나의 모듈형 캐소드 전기 접점은 상기 복수의 모듈형 캐소드 조립체의 동일한 모듈형 캐소드 조립체에 연결되며, 상기 제 1 레벨의 전력과 상기 제 2 레벨의 전력 중 하나의 전력만이 복수의 모듈형 애노드 조립체(1200)에 인가되는 전력과 동일한 극성을 갖는

전해 산화물 환원 시스템 작동 방법.

### 청구항 15

삭제

### 청구항 16

삭제

### 청구항 17

삭제

### 청구항 18

삭제

### 청구항 19

삭제

### 청구항 20

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

- [0001] (정부 지원)
- [0002] 본 발명은 미국 에너지부에 의해 수여된 계약 번호 DE-AC02-06CH11357 하의 정부 지원에 의해 이루어졌다. 미국 정부는 본 발명에 있어서 특정한 권한을 갖는다.
- [0003] 본 발명은 전기화학적 환원을 위한 애노드-캐소드 배전 시스템 및 그 사용 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

- [0004] 금속 산화물을 그 대응 금속(비산화) 상태로 환원시키기 위해 단일 단계 및 다단계의 전기화학적 프로세스가 사용될 수 있다. 이러한 프로세스는 종래에, 불순한 원료로부터 고순도 금속, 금속들을 회수하거나 및/또는 그 금속 산화물을 광석으로부터 금속을 추출하기 위해 사용되었다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

- [0005] 다단계 프로세스는 종래에, 금속 또는 광석을 전해질 내에서 용해시키고 이후 전기 분해 또는 선택적 전계화산 처리하여 비산화 금속을 회수한다. 예를 들어, 소모된 핵산화물 연료로부터 우라늄을 추출할 때는, 용융 LiCl에 용해되어 있는 Li와 같은 환원제를 사용하여, 우라늄 산화물의 화학적 환원이 650°C에서 수행되어 우라늄과 Li<sub>2</sub>O가 생성된다. 용액은 이후 전해채취(electrowinning)를 겪게 되며, 여기에서는 용융 LiCl 중의 용해된 Li<sub>2</sub>O가 전기분해식으로 분해되어 Li를 재생시킨다. 우라늄 금속은 상용 원자로 내의 핵연료와 같은 추후 사용을 위해 준비된다.
- [0006] 단일-단계 프로세스는 일반적으로, 금속 산화물을 이 금속 산화물과 친화적이도록 선택되는 용융 전해질 내에 캐소드(cathode) 및 애노드(anode)와 함께 침지시킨다. 캐소드는 금속 산화물과 전기적으로 접촉하며, 애노드와 캐소드를(또한 금속 산화물을 캐소드를 거쳐서) 대전시킴으로써, 금속 산화물은 용융 전해질을 통한 이온 교환과 전해 변환을 통해서 환원된다.
- [0007] 단일-단계 프로세스는 일반적으로, 다단계 프로세스에 비해서, 용융 염 및 금속의 취급과 이동 시에 보다 적은 수의 부품 및/또는 단계를 사용하고, 부유성(free-floating) 또는 과잉 환원성 금속의 양을 제한하며, 프로세스 제어가 개선되고, 다양한 출발 상태에서의 각종 금속 산화물/보다 고순도의 결과물을 갖는 혼합물과 친화적이다.

#### 과제의 해결 수단

- [0008] 예시적 실시예는 전해 환원 시스템에 사용될 수 있는 배전 시스템을 구비한다. 예시적 실시예는 표준화된 연결 구조를 사용함으로써 유연한 모듈형 조립체 개수와 배치를 가능하게 하는 여러 개의 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점을 구비할 수 있다. 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점은 연속적으로 또는 교호적으로 배치될 수 있다. 예시적인 애노드 및 캐소드 조립체 전기 접점은 모듈형 조립체로부터 칼날 전기 접점을 기계적으로 수용하기 위해 절연 포크(insulated fork) 형상을 가질 수 있다. 애노드 및 캐소드 조립체 접점을 이들 접점을 소정 위치에서 대형 환원 시스템에 고정시키는 착좌(seating) 조립체를 구비할 수 있으며, 조립체에 부착된 전력 케이블을 거쳐서 전력이 제공된다.
- [0009] 예시적 시스템 내의 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점은 임의의 소정 레벨로 전력을 제공할 수 있으며, 크기가 같고 극성이 반대인(equal and opposite) 전력을 제공하는 애노드 및 캐소드 조립체 전기 접점 쌍을 구비할 수 있다. 마찬가지로, 상이한 캐소드 조립체 전기 접점은, 동일한 모듈형 캐소드 조립체에 연결되어도, 상이한 레벨의 전력을 제공할 수 있다. 예시적 시스템은 애노드 또는 캐소드 조립체 접점에 공통 전력을 제공하는 버스 바를 구비할 수 있다. 예시적 방법은 전해 환원 시스템에 전력을 제공하기 위해 캐소드 및 애노드 조립체 전기 접점을 통해서 임의의 소정 레벨의 전력을 제공하는 것을 포함할 수 있다.
- [0010] 예시적 실시예의 전기 시스템은, 모듈형 캐소드 및 애노드 조립체가 그 안으로 연장되고 위로부터 지지되며 전해질을 보유하는 전해질 용기와 조합하여 사용될 수 있으며, 모듈형 캐소드 및 애노드 조립체는 예시적 전기 시

스템의 각각의 접점에 기계적으로 및 전기적으로 연결된다. 모듈형 애노드 조립체는 애노드 봉이 착좌하는 애노드 블록, 애노드 조립체 전기 접점에 전기 접속되는 버스, 및 상기 애노드 블록을 상기 버스에 전기적으로 결합시키는 슬립 조인트(slip joint)를 구비할 수 있다. 상기 슬립 조인트는, 애노드 블록 및 버스와의 전기 접촉을 유지하면서 고온 하에서 팽창할 수 있는 복수의 측방 부재를 구비한다.

### 도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 예시적 실시예의 전해 산화물 환원 시스템의 도시도이다.

도 2는 대체 구조를 갖는 도 1의 예시적 실시예의 전해 산화물 환원 시스템의 다른 도시도이다.

도 3은 예시적 실시예의 배전 시스템의 도시도이다.

도 4는 도 3의 예시적 실시예의 배전 시스템의 다른 도시도이다.

도 5는 예시적 실시예의 캐소드 조립체 접점 및 애노드 조립체 접점의 상세 도시도이다.

도 6은 예시적 실시예의 애노드 조립체의 도시도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 예시적 실시예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명할 것이다. 그러나, 본 명세서에 개시되는 특정한 구조적 및 기능적 세부사항은 단지 예시적 실시예를 설명할 목적으로 제시되는 것이다. 예시적 실시예는 여러가지 대체 형태로 구체화될 수 있으며, 본 명세서에 개시되는 예시적 실시예로만 한정되는 것으로 간주되지 않아야 한다.

[0013] 본 명세서에서는 다양한 요소를 기술하기 위해 제 1, 제 2 등의 용어가 사용될 수 있지만, 이들 요소는 이를 용어에 의해 제한되지 않아야 함을 알 것이다. 이들 용어는 하나의 요소를 다른 요소와 구별하기 위해 사용될 뿐이다. 예를 들어, 예시적 실시예의 교시 내용으로부터 벗어나지 않는 한도 내에서 제 1 요소가 제 2 요소로 명명될 수 있으며 마찬가지로 제 2 요소가 제 1 요소로 명명될 수 있다. 본 명세서에 사용되는 용어 "및/또는"은 관련 열거된 항목들 중 하나 이상의 임의의 및 모든 조합을 포함한다.

[0014] 하나의 요소가 다른 요소에 "연결", "결합", "교합", "부착" 또는 "고정"되는 것으로 언급될 때, 이는 다른 요소에 직접 연결 또는 결합될 수 있거나 그 사이에 중개 요소가 존재할 수도 있음을 알 것이다. 대조적으로, 하나의 요소가 다른 요소에 "직접 연결"되거나 "직접 결합"되는 것으로 언급될 때는, 중개 요소가 전혀 존재하지 않는다. 요소들 사이의 관계를 설명하기 위해 사용되는 다른 단어도 마찬가지로 해석되어야 한다(예를 들면, "사이" 대(versus) "바로 그 사이에", "인접하는" 대 "바로 인접하는", 등).

[0015] 본 명세서에 사용되는 단수 형태의 관사 및 정관사는 달리 명시되지 않는 한 복수 형태도 포함하도록 의도된다. 또한, 본 명세서에 사용되는 용어 "포함한다", "포함하는", "구비한다" 및/또는 "구비하는"은 언급되는 특정부, 정수, 단계, 작동, 요소 및/또는 부품의 존재를 특정하지만 하나 이상의 다른 특정부, 정수, 단계, 작동, 요소, 부품 및/또는 그 그룹의 존재 또는 추가를 배제하지 않음을 알 것이다.

[0016] 일부 대체 실시예에서는 언급된 기능/작용이 도면에 도시되거나 명세서에 기술된 순서를 벗어나서 이루어질 수 있다는 것도 알아야 한다. 예를 들어, 연속적으로 도시되는 두 개의 도면 또는 단계가 실제로는 나란히 동시에 실행될 수도 있거나, 때로는 관련 기능/작용에 따라서 역순으로 또는 반복적으로 실행될 수도 있다.

[0017] 본 발명의 발명자들은 기존의 단일-단계 전해 환원 프로세스에서의 문제점을 알아냈으며, 즉 기존의 프로세스는 적어도 부분적으로 제한된 정전 캐소드 크기 및 구조로 인해 다양한 환원된 금속 생성물을 상업적 규모로 또는 유연한 규모로 발생시킬 수 없다는 문제점을 알아냈다. 단일 단계 전해 환원 프로세스는 또한, 부분 규칙성 및 교체성과 같은 구성에 있어서, 및 전력 레벨, 작동 온도, 작업 전해질 등과 같은 작동 파라미터에 있어서 융통성이 부족할 수 있다. 후술하는 예시적 시스템 및 방법은 이들 문제점과, 이하에서 논의되거나 논의되지 않는 다른 문제점들을 고유하게 해결한다.

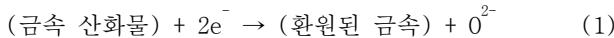
### 예시적 실시예의 전해 산화물 환원 시스템

[0019] 도 1은 예시적 실시예의 전해 산화물 환원 시스템(EORS: electrolytic oxide reduction system)(1000)의 도시도이다. 예시적 실시예의 EORS(1000)의 양태가 후술되고 관련 예시적 실시예 부품과 함께 사용될 수 있지만, EORS(1000)는 추가로 하기 동시-계속 출원들에 기재되어 있다.

[0020]	<u>출원번호</u>	<u>출원일</u>	<u>Attorney Docket No.</u>
[0021]	12/977791	12/23/2010	24AR246135 (8564-000224)
[0022]	12/977916	12/23/2010	24AR246138 (8564-000226)
[0023]	12/978005	12/23/2010	24AR246139 (8564-000227)
[0024]	12/978027	12/23/2010	24AR246140 (8564-000228)
[0025]	상기 동시-계속 출원들의 개시 내용은 그 전체가 본 명세서에 원용된다.		
[0026]	<p>도 1에 도시하듯이, 예시적 실시예의 EORS(1000)는 유연한 규모 또는 상업적 규모에 기초하여 여러가지 상이한 형태의 금속-산화물의 전해 환원을 가능하게 하는 여러 개의 모듈형 부품을 구비한다. 예시적 실시예의 EORS(1000)는 전해질 용기(1050)를 구비하며, 이는 용기(1050) 내의 전해질을 용융 및/또는 용해시키기 위해 히터(1051)와 접촉하거나 필요할 경우 히터(1051)에 의해 가열된다. 전해질 용기(1050)는, 환원될 재료의 형태에 기초하여 선택되는, 이동 가능한 산화물 이온을 제공하는 용해성 산화물을 함유하는 염 또는 할로겐화물 염과 같은 적절한 전해질로 충전된다. 예를 들어, <math>\text{CaCl}_2</math>와 <math>\text{CaO}</math>, 또는 <math>\text{CaF}_2</math>와 <math>\text{CaO}</math>, 또는 일부 다른 Ca계 전해질, 또는 <math>\text{LiCl}</math> 및 <math>\text{Li}_2\text{O}</math>와 같은 리튬계 전해질 혼합물이 희토류 산화물, 또는 우라늄 또는 백금 산화물과 같은 악티나이드 산화물, 또는 소모된 핵연료와 같은 복합 산화물을 환원시키는데 사용될 수 있다. 전해질은 또한 그 용접에 기초하여 선택될 수 있다. 예를 들어, <math>\text{LiCl}</math>과 <math>\text{Li}_2\text{O}</math>의 전해질 염 혼합물이 표준 압력에서 <math>610^\circ\text{C}</math>에서 용융될 수 있는 반면에, <math>\text{CaCl}_2</math>와 <math>\text{CaO}</math> 혼합물은 대략 <math>850^\circ\text{C}</math>의 작동 온도를 요구할 수 있다. 용해된 산화물 종의 농도는 전기화학적 수단 또는 기타 수단에 의한 용해성 산화물 또는 염화물의 첨가에 의해 환원 중에 제어될 수 있다.</p>		
[0027]	<p>EORS(1000)는 다른 부품을 수용, 프레임형성하거나, 지지 및 구성하기 위한 여러 개의 지지 및 구성 부재를 구비할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 측방 지지체(1104)는 상판(1108)까지 연장되어 상판을 지지할 수 있으며, 상판은 접근이 가능하도록 전해질 용기(1050) 위에 개구(도시되지 않음)를 구비할 수 있다. 상판(1108)은 또한, 상판(1108) 주위에 연결되는 글러브박스(도시되지 않음)에 의해 지지 및/또는 격리될 수 있다. 애노드 및 캐소드 부품이 복수의 모듈 위치에서 EORS(1000)에 의해 지지되고 이를 통해서 작동될 수 있게 하기 위해 상판(1108) 상에 또는 상판 근처에는 여러 개의 표준화된 전기 접점(1480)(도 2) 및 냉각 소스/가스 배출구가 제공될 수 있다. 리프트 바(1105) 및/또는 가이드 봉(1106)을 구비하는 리프트 바스켓 시스템이, 전해질 용기(1050) 내의 용융 전해질 속으로 하향 연장되는 캐소드 조립체(1300)에 연결되거나 및/또는 현수될 수 있다. 이러한 리프트 바스켓 시스템은 EORS(1000)의 잔여부 및 관련 부품의 이동 없이 캐소드 조립체(1300)의 선택적 리프팅 또는 다른 조작을 가능하게 할 수 있다.</p>		
[0028]	<p>도 1에는, 다양한 지지 요소에 의해 지지되고 전해질 용기(1050) 내로 연장되는 여러 개의 애노드 조립체(1200)와 교호적인 여러 개의 캐소드 조립체(1300)를 갖는 EORS(1000)가 도시되어 있다. 이들 조립체는 추가로, EORS(1000) 내의 대응 소스에 대한 표준 연결을 통해서 급전 또는 냉각될 수 있다. 도 1에는 10개의 캐소드 조립체(1300)와 11개의 애노드 조립체(1200)가 도시되어 있지만, 에너지 리소스, 환원될 재료의 양, 생산될 금속의 소정 양 등에 따라서, 임의의 개수의 애노드 조립체(1200) 및 캐소드 조립체(1300)가 EORS(1000)에 사용될 수 있다. 즉, 유연하고 잠재적으로 크며 상업적 규모인 전해 환원 시스템을 제공하기 위해 개별 캐소드 조립체(1300) 및/또는 애노드 조립체(1200)가 추가 또는 제거될 수 있다. 이런 식으로, 예시적 실시예의 EORS(1000), 애노드 조립체(1200) 및 캐소드 조립체(1300)의 모듈 설계를 통해서, 예시적 실시예는 신속하고 간단한 단일-단계 환원 작업으로 물질 생산 요건 및 에너지 소비 한도를 보다 양호하게 충족할 수 있다. 모듈 설계는 또한, 예시적 실시예의 신속한 수리와 표준 제작, 보다 낮은 제조 및 개장 비용과 시간 소비를 가능하게 할 수 있다.</p>		
[0029]	<p>도 2는 캐소드 조립체(1300)로부터 반응성 금속 산화물 또는 생산된 환원 금속의 로딩 또는 언로딩을 허용하는 액세스를 위해 모듈형 캐소드 조립체(1300)만 전해질 용기(1050)로부터 선택적으로 들어올리기 위해 상승되는 리프트 바(1105) 및 가이드 봉(1106)을 구비하는 바스켓 리프팅 시스템을 갖는, 대체 구조의 EORS(1000)의 도시도이다. 도 2의 구조에서는, 여러 개의 모듈형 전기 접점(1480)이 상판(1108)내 개구 주위의 모듈 위치에 정렬되어 있는 것으로 도시되어 있다. 예를 들어, 전기 접점(1480)은 EORS(1000) 내에서 모듈형 캐소드 조립체(1300) 및/또는 애노드 조립체(1200)의 여러가지 상이한 정렬 및 위치를 가능하게 하는 칼날 접점일 수 있다.</p>		
[0030]	<p>도 1에 도시하듯이, 버스 바(1400), 애노드 전력 케이블(1410) 및/또는 캐소드 전력 케이블(1420)을 구비하는 급전 시스템은 전기 접점(도시되지 않음)을 통해서 애노드 조립체(1200) 및/또는 캐소드 조립체(1300)에 독립적</p>		

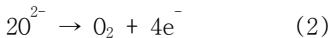
인 전하를 제공할 수 있다. 작동 중에, 전해질 용기(1050) 내의 전해질은 가열 및/또는 용해에 의해서 또는 환원될 산화물과 친화적인 액체 전해질 재료를 제공함으로써 액화될 수 있다. 액화된 전해질 재료의 작동 온도는 사용되는 재료에 기초하여 대략 400 내지 1200°C일 수 있다. 예를 들어 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PuO<sub>2</sub>, UO<sub>2</sub>, 소모된 산화물 핵연료 또는 희토류 광물 등과 같은 복합 산화물을 포함하는 산화물 재료가, 전해질 및 캐소드 조립체(1300)와 접촉하도록, 액체 전해질 내로 연장되는 캐소드 조립체(1300) 내에 로딩된다.

[0031] 캐소드 조립체(1300) 및 애노드 조립체(1200)는 상반되는 전하 또는 극성을 제공하기 위해 전원에 연결되며, 캐소드에서 금속 산화물에 유입되는 환원성 전자에 의해 캐소드에서 소정의 전기화학적으로 발생되는 환원 전위가 확립되도록 전류-제어식 전기화학 프로세스가 발생한다. 발생되는 환원 전위로 인해, 캐소드 조립체(1300) 내의 산화물 재료 중의 산소가 방출되고 액체 전해질 내에 산화물 이온으로서 용해된다. 산화물 재료 중의 환원된 금속은 캐소드 조립체(1300)에 잔류한다. 캐소드 조립체에서의 전해 반응은 하기 식(1)로 표시될 수 있다.



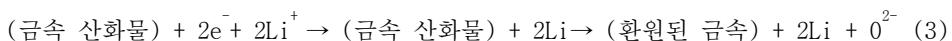
[0033] 여기에서  $2e^-$ 는 캐소드 조립체(1300)에 의해 공급되는 전류이다.

[0034] 애노드 조립체(1200)에서, 전해질 내에 용해되어 있는 산소 이온은 그 음전하를 애노드 조립체(1200)에 전달하고 산소 가스로 변환시킬 수 있다. 애노드 조립체에서의 전기분해 반응은 하기 식(2)로 표시될 수 있다.

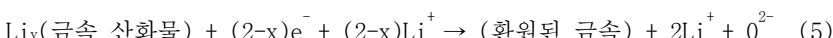
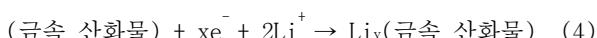


[0036] 여기에서  $4e^-$ 는 애노드 조립체(1200) 내로 통과하는 전류이다.

[0037] 예를 들어, 용융 Li계 염이 전해질로 사용되는 경우, 상기 캐소드 반응은 하기 식(3)으로 다시 표시될 수 있다.



[0039] 그러나, 예를 들어 캐소드 조립체(1300)가 리튬 석출이 발생될 전위보다 낮은 음전위로 유지되는 경우에는 이 특정 반응 시퀀스가 발생하지 않을 수도 있으며 중간 전극 반응이 일어날 수 있다. 잠재적 중간 전극 반응은 하기 식(4), (5)로 표시되는 반응을 포함한다.



[0042] (4) 및 (5)에 도시된 중간 반응에서 금속 산화물 결정 구조에 리튬이 통합되면 금속 산화물의 도전성이 향상될 수 있으며, 이는 환원에 바람직하다.

[0043] 전극 전위와 환원 속도를 제어하여 애노드 또는 캐소드 순상/부식/파열/등의 위험을 제어하기 위해 기준 전극과 기타 화학적 및 전기적 모니터가 사용될 수 있다. 예를 들어, 전극 전위를 모니터링하고 애노드 조립체(1200) 및 캐소드 조립체(1300)로의 전압을 조절하기 위해 기준 전극이 캐소드 표면 근처에 배치될 수 있다. 소정의 환원 반응을 위해서만 충분한 정상(steady) 전위를 제공함으로써 염소 발생과 같은 애노드 반응 및 리튬이나 칼슘과 같은 전해질 금속의 부유성 액적과 같은 캐소드 반응을 방지할 수 있다.

[0044] 예를 들어 전해질로 사용되는 용융 LiCl 중의 Li<sub>2</sub>O와 같은, 액체 전해질 내의 용해된 산화물-이온 종의 효과적인 수송은 예시적 실시예의 EORS(1000)에서 환원 속도 및 비산화 금속 생산을 향상시킬 수 있다. 교호적인 애노드 조립체(1200) 및 캐소드 조립체(1300)는 전해질 전체에 걸쳐서 용해된 산화물-이온 포화도 및 균일성을 향상시킬 수 있으며, 대규모 생산을 위한 애노드 및 캐소드 표면적을 증가시킬 수 있다. 예시적 실시예의 EORS(1000)는 용해된 산화물-이온 종의 확산 수송을 향상시키기 위해 교반기, 혼합기, 진동기 등을 추가로 구비할 수 있다.

[0045] 화학적 및/또는 전기적 모니터링은, 예를 들어 애노드 조립체(1200)와 캐소드 조립체(1300) 사이의 전위가 증가하거나 용해된 산화물 이온의 양이 감소할 때 상기 환원 공정이 완료되었음을 나타낼 수 있다. 소정의 정도로 완료되면, 상기 환원 공정에서 발생된 환원 금속은, 보유된 환원 금속을 함유하는 캐소드 조립체(1300)를 용기(1050) 내의 전해질로부터 들어올림으로써 캐소드 조립체(1300)로부터 수확될 수 있다. 공정 중에 애노드 조립체(1200)에서 수집되는 산소 가스는 조립체들에 의해 주기적으로 또는 지속적으로 소제되어 배출되거나 차후 사

용을 위해 수집될 수 있다.

- [0046] 이상 예시적 실시예의 EORS(1000)의 구조 및 작동에 대해 설명했지만, 원용된 문헌 및 그 밖의 다른 문헌에 기재되어 있는 여러 개의 상이한 구성요소가 예시적 실시예와 함께 사용될 수 있으며 이것이 EORS(1000)의 특정 작동 및 특징을 더 자세히 설명할 수도 있음을 알 것이다. 마찬가지로, 예시적 실시예의 EORS(1000)의 구성요소 및 기능은 앞서 설명되거나 원용된 문헌에 제시된 특정 상세에 한정되지 않으며, 당업자의 필요와 제한에 따라 변경될 수 있다.
- [0047] 예시적 실시예의 배전 시스템
- [0048] 도 3 및 도 4는 예시적 실시예의 배전 시스템(400)의 도시도이며, 도 3은 프로파일 개략도이고 도 4는 시스템(400)의 등각도이다. 예시적 실시예의 시스템(400)은 EORS(1000)(도 1 내지 도 2)에 사용될 수 있는 구성요소와 함께 도시되어 있지만, 예시적 실시예는 다른 전해 환원 시스템에 사용될 수 있음을 알아야 한다. 마찬가지로, 하나의 예시적 시스템(400)이 도 3 내지 도 5에 도시되어 있지만, 복수의 예시적 시스템(400)이 전해 환원 장치에 사용될 수 있음을 알아야 한다. EORS(1000)(도 1 및 도 2)에서는, 여러 개의 모듈형 애노드 및/또는 캐소드 조립체에 균형잡힌 전력을 제공하기 위해 예를 들어 다중 배전 시스템이 EORS(1000)의 각 측부에 사용될 수 있다.
- [0049] 도 3에 도시하듯이, 예시적 실시예의 배전 시스템(400)은 복수의 캐소드 조립체 접점(485)을 구비하며, 여기에서는 모듈형 캐소드 조립체(1300)와 같은 모듈형 캐소드 조립체가 기계적으로 및 전기적으로 연결되어 전력을 수용한다. 캐소드 조립체 접점(485)은 다양한 형상 및 크기의 것일 수 있는 바, 표준 플러그 및/또는 케이블을 포함하거나, 예시적 시스템(400)에서는 예시적 캐소드 조립체(1300)로부터 칼날 연결부를 수용하도록 형상화된 포크-타입 접점을 포함한다. 예를 들어, 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 우발적인 전기 접촉 위험을 줄이기 위해 절연체로 둘러싸인 포크-타입 전도성 접점을 구비할 수 있다. 각각의 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 모듈형 캐소드 조립체에 이용될 수 있기에 바람직한 임의의 위치(들)에서 상판(1108)에 착좌될 수 있다.
- [0050] 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 서로 다른 레벨의 전력, 전압 및/또는 전류를 제공할 수 있다. 예를 들어, 접점(485b)은 후술되는 애노드 접점(480)(도 5)을 통해서 제공되는 레벨과 매치되는 고전력을 제공할 수 있으며, 애노드 접점(480)과 다른 극성을 갖는다. 접점(485a)은 접점(485b)에 비해서 보다 낮고 반대되는 전압 및/또는 전류를 통해서 보다 낮은 이차 전력을 제공할 수 있는 바, 즉 접점(485a)의 극성은 애노드 접점(480)(도 5)의 극성과 매치될 수 있지만 보다 낮은 레벨에 있다. 이런 식으로, 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)과 접촉하는 단일 캐소드 조립체에는 상반되고 가변적인 전력이 제공될 수 있다. 또한, 일차 레벨의 전력과 이차 레벨의 전력이 둘 다 접점(485b)을 통해서 제공될 수 있거나, 임의의 다른 소정 레벨 또는 가변 레벨의 전력이 예시적 환원 시스템의 작동을 위해 제공될 수 있다.
- [0051] 각각의 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 그것에 연결되는 모듈형 캐소드 조립체에 편평하고 얇은 프로파일의 전기 접촉 면적을 제공하기 위해 환원 시스템의 대향 측에 있는 다른 접점과 병렬 및 정렬될 수 있다. 대안적으로, 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 상이한 캐소드 조립체 전기 커넥터 구조와 매치되도록 지그재그 배치되거나 교호적 위치에 배치될 수 있다. 반복적이고 유연한 위치설정, 가변적인 전기 공급, 및 표준화된 설계에 의해, 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 모듈형 캐소드 조립체 사용에 있어서 모듈형 및 상업적 규모화(scaling)를 가능하게 한다. 이런 식으로, 예시적 실시예의 배전 시스템(400)은 전해 환원 시스템 내의 캐소드 조립체의 선택적 추가, 제거, 재배치 및 급전을 가능하게 한다.
- [0052] 도 5는 EORS(1000)(도 1 및 도 2)에 사용할 수 있는 예시적 실시예의 배전 시스템(400)에서 상판(1108) 위에 있는 캐소드 조립체 접점(485a, 485b) 및 애노드 조립체 접점(480)의 상세도이다. 도 5에 도시하듯이, 애노드 조립체 접점(480)은 전술한 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)과 거의 유사할 수 있으며, 예를 들어 모듈형 애노드 조립체(1200)(도 1)로부터의 칼날 연결부에 기계적으로 및 전기적으로 연결되도록 구성된 포크-타입 접점을 둘러싸는 절연 커버를 갖는다. 애노드 조립체 접점(480)은 또한 모듈형 애노드 조립체 접유에 이용될 수 있는 위치에서 예시적 환원 시스템의 양쪽에 배치될 수도 있다. 예를 들어, 도 5에 도시하듯이, 애노드 조립체 접점(480)은 캐소드 조립체 접점(485)과 교호적으로 지그재그 배치될 수 있다. 모듈형 애노드 조립체 급전을 위한 임의의 소정 위치에 순차적으로 또는 교호적으로 배치되는 단수 또는 복수의 애노드 조립체 접점(480)을 구비하는 여러가지 다른 구조가 마찬가지로 있을 수 있다. 유연한 위치설정 및/또는 표준화된 설계에 의해, 애노드 조립체 접점(480)은 모듈형 애노드 조립체 사용에 있어서 모듈형 및 상업적 규모화를 가능하게 한다. 애노드 조립체 접점(480)을 구비하는 예시적 실시예의 배전 시스템(400)은 전해 환원 시스템 내의 애노드 조립체의 선택적 추가, 제거, 재배치 및 급전을 가능하게 한다.

[0053]

도 3 및 도 4에 도시하듯이, 각각의 접점(480, 485a, 485b)은 예시적 실시예의 배전 시스템(400)에서 독립적으로 금전될 수 있으며, 따라서 각각의 접점은 소정의 전력, 전압 및/또는 전류 레벨을 제공하고 따라서 환원 시스템에 대한 전위를 감소시킨다. 접점(480, 485a, 485b 등)은, 상판(1108) 또는 임의의 다른 구조물 내의 접점들을 통과하고 이를 접점을 위치설정하는 절연된 착좌 조립체(450)를 구비할 수 있다. 착좌 조립체(450)는 애노드 또는 캐소드 접점 내의 포크-타입 커넥터 또는 임의의 다른 단자에 연결될 수 있으며, 또한 착좌 조립체(450)에 전력을 제공하는 전기 커넥터(415)에 연결될 수 있다. 전기 커넥터(415)는 예를 들어 도 3 및 도 4에 도시된 체결식 전도성 리드 배치, 스플라이스형(spliced) 와이어, 및/또는 플러그-및-수용체 타입 인터페이스를 포함하는 임의의 형태의 전기 인터페이스일 수 있다.

[0054]

착좌 조립체(450) 및 접점(480, 485a, 485b)에 각각 소정의 전력을 제공하기 위해 전력 케이블(410, 420a, 420b)이 전기 커넥터(415)에 연결될 수 있다. 전력 케이블(410, 420a, 420b)은 예시적 배전 시스템(400)에서의 전기 접점(480, 485a, 485b)에 각각 송출되어야 하는 전력의 레벨에 기초한 임의의 형태 또는 용량의 라인일 수 있다. 전력 케이블(410, 420a, 420b)은 환원 시스템을 작동시키기 위해 임의의 공유 전원 또는 독립 전원에 연결될 수 있다. 예를 들어, 전력 케이블(420a, 420b)은 전력 케이블(420a, 420b)에 가변적인 전기 특성을 제공하는 조절 가능한 전원에 연결될 수 있는 반면에, 전력 케이블(410)은 전력 케이블(410)에 동등한 전류 및/또는 전압을 제공하는 공유 버스 바(425)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 버스 바(425)는 EORS(1000)의 주어진 측에 있는 각각의 전력 케이블(410)과 단일 전원에 연결될 수 있다. 환원 장치의 외부에 있는 하나 이상의 트레이(405)는 개별 전력 케이블(410, 420a, 420b)을 분리 및/또는 조작할 수 있다.

[0055]

개별 전기 접점(480, 485a, 485b)이 예시적 실시예의 금전 시스템(400) 내의 개별 소스로부터 제공되는 전력을 가질 수 있기 때문에, 예시적 실시예의 금전 시스템(400)을 구비하는 환원 시스템을 각각의 모듈형 애노드 및 캐소드 조립체 사이의 상이한 전기적 특징으로 작동시킬 수 있다. 예를 들어, 애노드 접점(480)과 캐소드 접점(485b)에 전력을 송출하는 케이블(410, 420b)은 각각 동일하지만 반대되는 높은 전력/극성에서 작동될 수 있다. 그 각각의 접점(485b, 480)에 연결된 모듈형 캐소드 조립체(1300) 및 애노드 조립체(1200)는 따라서 동일한 전력 레벨에서 작동할 수 있으며 균형잡힌 환원 전위를 제공할 수 있다. 즉, (전류 전망에 따라) 거의 동일한 전류가 케이블(420b)에 유입되고 케이블(410)로부터 유출되도록 모듈형 캐소드 및 애노드 조립체 사이에서 회로가 완성될 수 있다. 전력 케이블(420a)에 대한 전기는 이차 전력 레벨(예를 들면 2.3 V 및 225 A)로 제공될 수 있는 반면에, 전력 케이블(410 또는 420b)에는 반대 극성으로 일차 레벨 전력(예를 들면 2.4 V 및 950 A)이 제공될 수 있다. 전력 케이블(420a)에 제공되는 전력의 극성은 전력 케이블(410)에 제공되는 전력의 극성과 동일할 수 있으며, 420b에 제공되는 전력의 극성과 반대될 수 있다. 이런 식으로, 캐소드 조립체 접점(485a, 485b)은 그것에 연결된 모듈형 캐소드 조립체와 상이하거나 반대되는 전력 레벨을, 상이한 전력 레벨을 사용할 수 있는 모듈형 캐소드 조립체의 구성요소에 제공할 수 있다. 전해 환원 시스템의 반대측에 있는 매칭 또는 가변 전기 시스템은 복수의 전기 접점을 갖는 모듈형 조립체에 전력을 제공하기 위해 유사하거나 상이한 방식으로 작동될 수 있다. 표 1은 각각의 접점과 그것에 대한 전력 케이블을 위한 전원의 예를 도시하며, 접점(480, 485a, 485b) 중 임의의 것은 상이한 개별화된 전력 레벨 및/또는 대향 극성을 제공할 수 있음을 알아야 한다.

### 표 1

표 1			
전력 레벨(극성)	비아 케이블	접점	전극용
일차(+)	410	480	애노드 조립체
일차(−) 또는 이차(−)	420b	485b	캐소드 조립체(−)
이차(+)	420a	485a	캐소드 조립체(+)

[0056]

개별 전기 접점(480, 485a, 485b)이 예시적 실시예의 금전 시스템(400) 내의 개별 소스로부터 제공되는 전력을 가질 수 있기 때문에, 예시적 실시예의 금전 시스템(400)을 구비하는 환원 시스템을 각각의 모듈형 애노드 및 바스켓 조립체 사이의 상이한 전기적 특징으로 작동시킬 수 있다. 예를 들어, 캐소드 조립체 접점(485a)과 캐소드 조립체 접점(485b)에 전력을 송출하는 케이블(420a, 420b)은 각각 상반되는 극성으로 작동될 수 있으며, 전해질을 조절하기 위해 캐소드 조립체(1300) 내의 이차 회로로서 작용할 수 있다. 마찬가지로, 접점(485a, 485b)이 역전될 수 있으며, 따라서 접점(485a)은 캐소드 바스켓에 이차 애노드 전력 레벨을 제공하고 접점(485b)은 캐소드 판에 일차 캐소드 전력 레벨을 제공한다. 모듈형 캐소드 조립체(1300)와 애노드 조립체(1200)에는 캐소드 조립체(1300)에 함유된 물질을 환원시키기에 충분히 일차 전력 레벨이 각각의 접점(485a 또는 485b 및 480)을 통해서 제공될 수 있다. 전해 환원 시스템의 반대측에 있는 매칭 또는 가변 전기 시스템은 복

수의 전기 접점을 갖는 모듈형 조립체에 전력을 제공하기 위해 유사하거나 상이한 방식으로 작동될 수 있다.

[0058] 도 6은 그 안에 사용될 수 있는 내부 전기 부품을 도시하고 예시적 실시예의 배전 시스템(400)을 갖는 예시적 실시예의 애노드 조립체(200)의 도시도이다. 애노드 봉(210)은 조립체(200) 내의 그 위치 또는 배향에 관계없이 예시적 실시예의 모듈형 애노드 조립체(200)의 전기 시스템에 의해 급전된다. 예를 들어, 전기 시스템은 애노드 블록(286), 슬립 연결부(285), 및 하나 이상의 애노드 봉(210)에 전류 및/또는 전압을 제공하는 버스(280)를 구비할 수 있다. 도 6에 도시된 예에서, 애노드 봉(210)은 애노드 블록(286)과 애노드 봉(210) 사이의 표면적 접촉을 최대화하기 위해 애노드 블록(286) 내의 삽입체 또는 구멍 안에 연결되거나 착좌된다. 애노드 블록(286)은 슬립 연결부(285)에서의 측방 접점을 통해서 버스(280)에 전기적으로 연결된다. 애노드 블록(286), 슬립 연결부(285) 및 버스(280)는 각각 채널 프레임(201) 및 애노드 가드(도시되지 않음)로부터 절연될 수 있거나 및/또는 이것에 전기 접속되지 않을 수 있다. 예를 들어, 도 6에 도시하듯이, 슬립 연결부(285), 애노드 블록(286) 및 버스(280)는 각각 채널 프레임(201)으로부터 상승되어 분리된다. 이를 요소가 채널 프레임(201)에서 애노드 블록(286)에 결합되는 애노드 봉(210)과 같은 다른 대전된 부품과 접촉하는 경우에, 또는 버스(280)의 칼날 접점이 채널 프레임(201)을 통해서 연장되는 경우에, 접점과 채널 프레임(201) 사이에는 절연체가 개재될 수 있다.

[0059] 슬립 연결부(285)는 애노드 봉(210)의 이동 또는 결과적 손상 없이 애노드 블록(286) 및/또는 버스(280)의 열팽창을 허용한다. 즉, 애노드 블록(286) 및/또는 버스(280)는 슬립 연결부(285)에서 횡방향으로 서로를 지나서 팽창 및/또는 수축할 수 있지만, 측방 전기 접점에 여전히 잔류한다. 예시적 전기 시스템의 각 부품은 구리 또는 철 합금 등과 같은 도전성 재료로 제작된다. 임의 개수의 부품이 전기 시스템 내에서 반복될 수 있는 바, 예를 들어 여러 개의 애노드 블록(286)이 여러 개의 대응 애노드 봉(210)에 연결되도록 배치될 수 있지만 그 각각은 애노드 접점(480)(도 3 내지 도 5) 형태의 대응하는 동기화된 전압 소스에 연결될 수 있는 예시적 실시예의 모듈형 애노드 조립체(200)의 양 단부에서 복수의 버스(280)에 여전히 연결되어 있다.

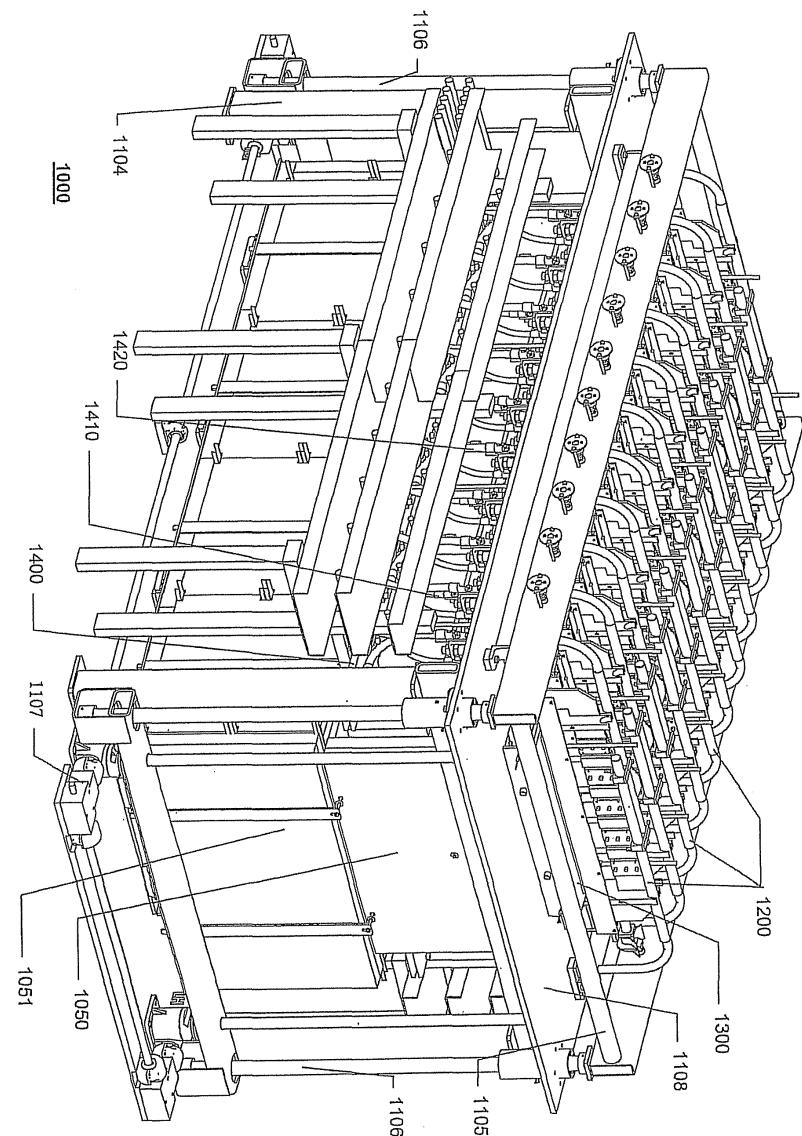
[0060] 채널 프레임(201) 및 애노드 가드(도시되지 않음)로부터 절연되는 전기 시스템이 그럼에도 불구하고 외부 전원(480)(도 3 내지 도 5)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 버스(280)는, 채널 프레임(201)을 통해서 연장되고 이 채널 프레임으로부터 절연되는 칼날 접점을 구비할 수 있다. 버스(280)의 칼날 접점은 예시적 실시예의 모듈형 애노드 조립체(200)가 배치될 수 있는 정해진 위치에서 애노드 조립체 접점(480) 내의 포크-타입 전기 커넥터와 같은 칼날 수용체 내에 착좌될 수 있다. 소정 레벨의 독립적인 전류 및/또는 전압이 버스(280), 슬립 연결부(285) 및 애노드 블록(286)을 통해서 애노드 봉(210)에 제공될 수 있으며, 따라서 애노드 봉(210)은 환원 시스템 내의 산소 가스에 산화 전위/산화물 이온 산화를 제공할 수 있다. 예시적 실시예의 조립체(200) 내의 전기 시스템에 의해 제공되는 전압 및/또는 전류는, 예시적 실시예의 애노드 조립체(200)에 의해 제공될 수도 있는 시스템의 물리적 파라미터 및 계기로부터의 피드백에 기초하여 수동식으로 또는 자동적으로, 예시적 실시예 시스템(400)(도 3 내지 도 5)에 공급되는 전력에 의해 변경될 수 있다.

[0061] 전류 또는 전압으로 측정되는 소정 전력 레벨이 조립체 내의 전기 시스템을 통해서 애노드 조립체에 인가되어 그 안의 애노드를 예시적 방법으로 대전시킨다. 이 대전은 애노드 봉이 전해질과 접촉되는 동안, 인근 캐소드 내의 또는 전해질 중에서 이와 접촉하는 금속 산화물을 환원시키는 반면에, 전해질 속에 용해된 산화물 이온을 산화시킨다. 예시적 방법은 추가로, 수리 또는 시스템 구성 필요에 기초하여 환원 시스템 내의 조립체의 모듈 부분 또는 전체 조립체를 교환할 수 있으며, 가변적인 양의 환원 금속을 생성할 수 있거나 및/또는 모듈 구조에 기초하여 소정의 전력 레벨, 전해질 온도, 및/또는 임의의 다른 시스템 파라미터로 작동될 수 있는 유연 시스템을 제공할 수 있다. 환원 이후에, 환원 금속은 제거될 수 있으며 환원 금속의 정체성에 기초하여 다양한 화학적 프로세스에 사용될 수 있다. 예를 들어, 환원된 우라늄 금속은 핵연료로 재처리될 수 있다.

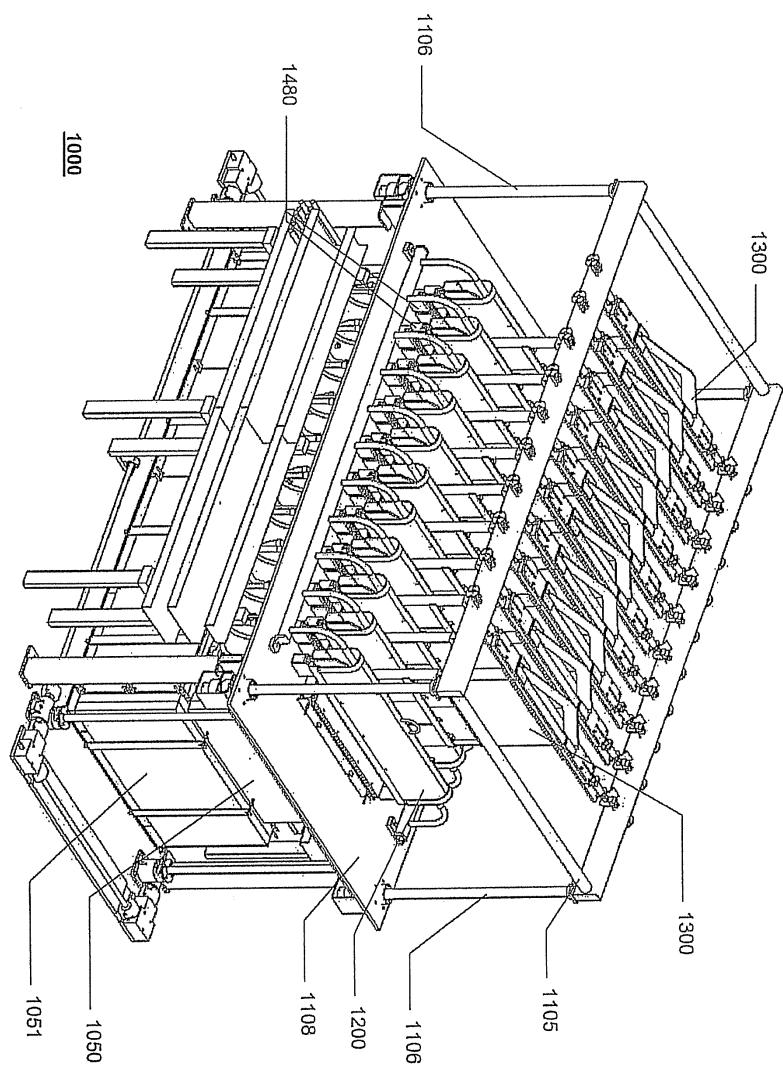
[0062] 예시적 실시예를 설명했지만, 당업자라면 예시적 실시예가 추가적인 발명적 활동 없이 일상적인 실험을 통해서 변경될 수 있음을 알 것이다. 예를 들어, 예시적 실시예에서는 전기 접점이 예시적 환원 시스템의 한 쪽에 있는 것으로 도시되어 있지만, 예상되는 캐소드 및 애노드 조립체 배치, 전력 레벨, 필요한 산화 전위 등에 기초하여 다른 개수 및 구조의 전기 접점이 사용될 수 있다는 것도 물론 알아야 한다. 변형예는 예시적 실시예의 취지 및 범위를 벗어나지 않는 것으로 간주되어야 하며, 당업자에게 자명한 이러한 모든 수정예는 하기 청구범위의 범위에 포함되도록 의도된다.

도면

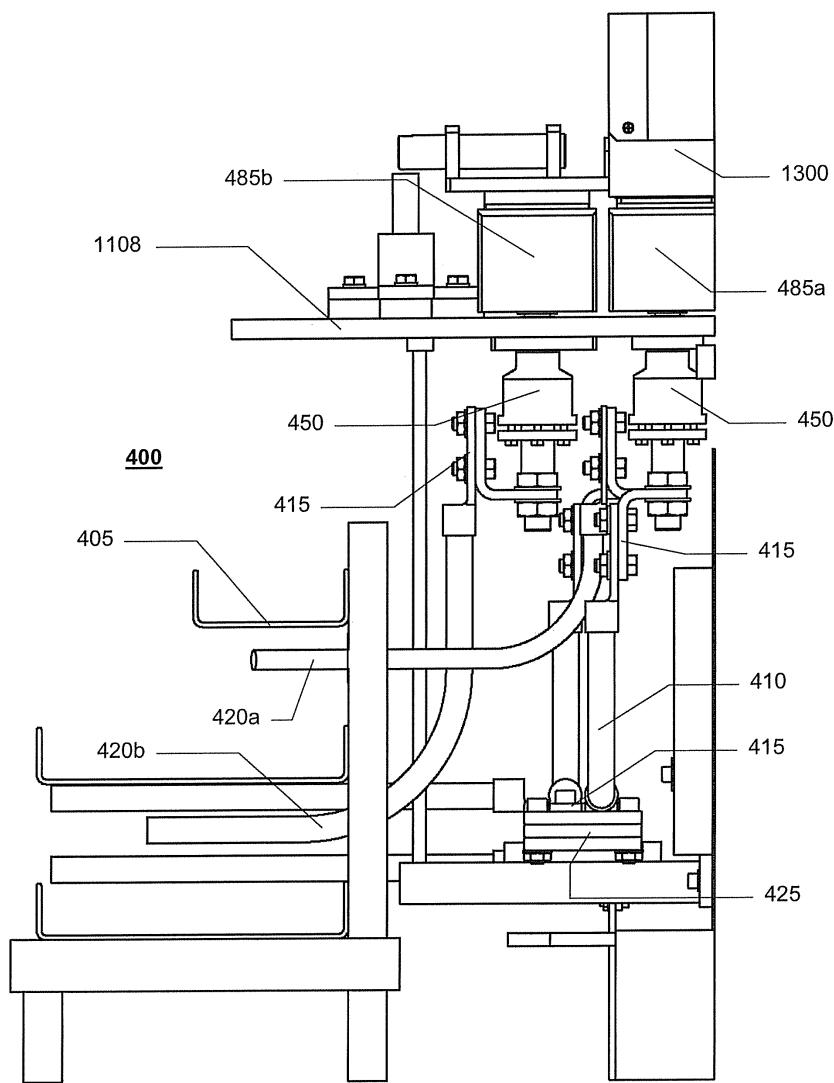
도면1



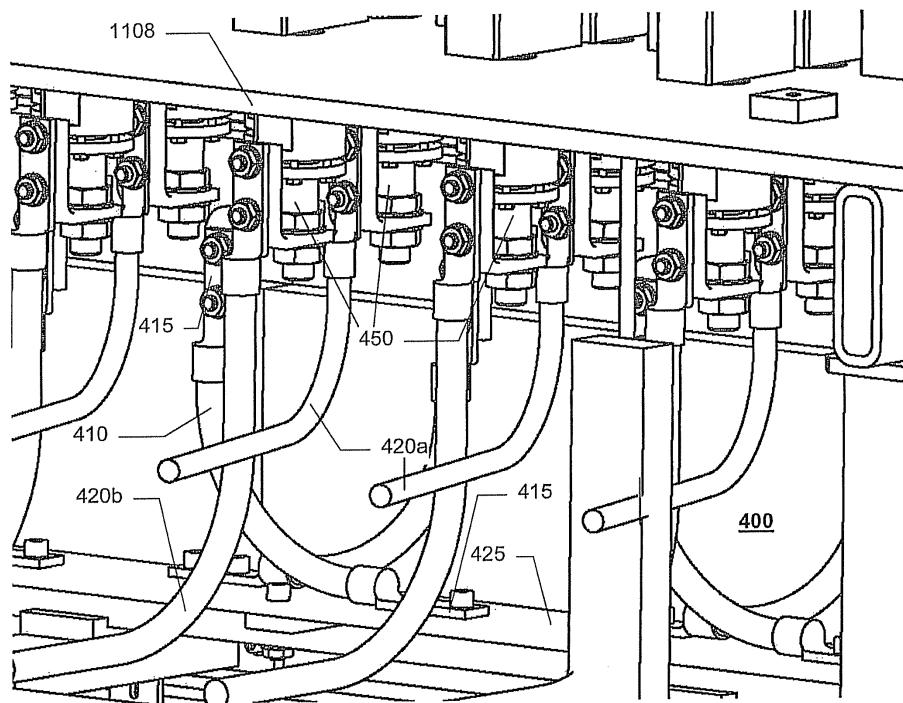
도면2



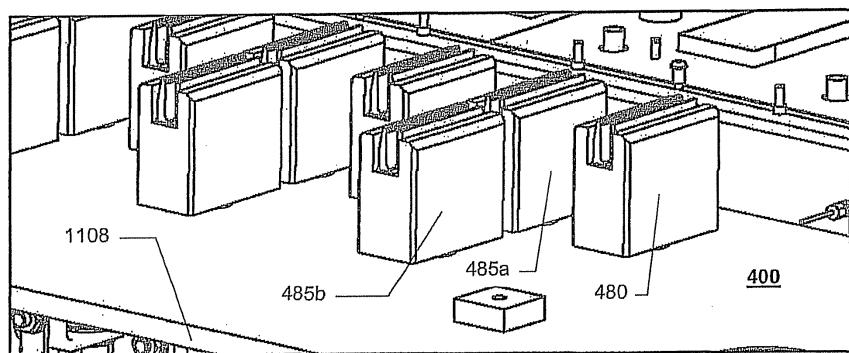
## 도면3



도면4



도면5



## 도면6

