



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0068566
(43) 공개일자 2022년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C25B 1/02 (2021.01) C01B 3/04 (2006.01)
C25B 13/02 (2021.01) C25B 9/19 (2021.01)

(52) CPC특허분류

C25B 1/02 (2021.01)
C01B 3/047 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0155477

(22) 출원일자 2020년11월19일

심사청구일자 2021년11월10일

(71) 출원인

롯데케미칼 주식회사

서울특별시 송파구 올림픽로 300 (신천동)

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

이민재

대전광역시 유성구 가정북로 115

박상선

대전광역시 유성구 가정북로 115

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 티앤아이

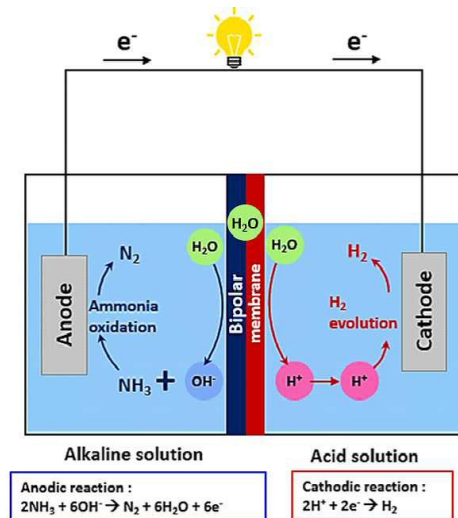
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치

(57) 요약

본 발명은, 암모니아 수용액을 함유한 알칼리 전해액에 함침된 애노드를 포함하는 애노드부; 산성 전해액에 함침된 캐소드를 포함하는 캐소드부; 및 인접한 상기 애노드와 캐소드를 구획하는 바이폴라 분리막을 포함하는, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C25B 13/02 (2021.01)

C25B 9/19 (2022.01)

(72) 발명자

강승희

대전광역시 유성구 가정북로 115

서명기

대전광역시 유성구 가정북로 115

민형기

대전광역시 유성구 가정북로 115

양예진

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 112동
301-3호

김정원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 112동
301-3호

김건태

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 112동
301-3호

명세서

청구범위

청구항 1

암모니아 수용액을 함유한 알칼리 전해액에 함침된 애노드를 포함하는 애노드부;

산성 전해액에 함침된 캐소드를 포함하는 캐소드부; 및

인접한 상기 애노드와 캐소드를 구획하는 바이폴라 분리막을 포함하는, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 바이폴라 분리막은, 물의 해리에 의한 수산화 이온을 애노드 전해질로 투과시키고, 물의 해리에 의한 수소 이온을 캐소드 전해질로 투과시키는 것인, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 캐소드부는 캐소드에서 생산되는 수소를 포집하는 수소 포집부를 더 포함하는 것인, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 수소 생산 장치는 pH 조정조가 비 구비된 것인, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 암모니아는 질소화합물 중 산화상태가 가장 낮은 상태로 여러 가지 산업 공정에서 직접 발생될 수도 있고, 질산성 질소 화합물의 처리 과정 시 질소화합물의 순환 사이클에 의해 발생될 수도 있다. 암모니아는 탈기, 생물학적 분해, 염소 분해, 전기화학적 분해에 의한 방법에 의해 처리될 수 있으며 그 중에서 전기화학적 산화 처리법이 경제성, 조업의 신속성 및 간편성 그리고 2차 폐기물의 최소 발생 등의 특성으로 인해 최근 많은 주목을 받고 있다.

[0003] 기존에 알려진 암모니아를 원료로 사용하는 수소 생산 방법으로서 열분해 기술이 있으며, 이는 질소와 수소가 동시에 발생되므로 고가의 팔라듐 막을 사용해서 고순도 수소를 분리해야 하기 때문에 생산성과 경제성이 낮은 한계가 있다. 또한, 전해적 방법에 의해 암모니아를 분해 시, 분리막을 사용하지 않는 경우 음극에서 생성되는 물질에 의해 양극에서의 암모니아의 산화 과정의 중간 생성물이 재 환원되거나 또는 양극에서 생성되는 암모니아 분해 생성물이 음극에서 재 환원되어 전체적인 암모니아 전해 분해 효율이 낮아질 수 있으므로 음극과 양극을 구분하는 분리막을 사용하여 전해분해를 하는 것이 필요하다.

[0004] 대한민국 등록특허공보 제10-0616134호는 자체 pH-조정조를 구비하고, 음이온 교환막을 가지는 분리막 전해조를 이용하는 암모니아 전해 분해장치에 대하여 개시되어 있다. 상기 발명은 암모니아 분해효율을 향상시킬 수 있도록 하기 위하여, 분해조에서 암모니아 용액의 전해 분해가 진행됨에 따라 pH가 낮아지는 암모니아 용액의 pH를

pH 조정조에 의해 자체적으로 조정하고, pH가 조정된 암모니아 용액을 분해조로 연속적으로 공급하는 것을 개시한다. 다만, 대한민국 등록특허공보 제10-0616134호에 따른 발명의 경우, pH-상승 전해조, pH-조정조 등의 부수적인 설비가 필요하여, 장치가 복잡해지고 장치의 부피가 커지는 문제점이 있다.

[0005] 그러므로, 보다 간단한 방법으로 암모니아 용액을 전해 분해하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제 10-0616134 호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치에 관한 것으로서, 간단한 구조를 통하여 효과적으로 암모니아 용액을 전해 분해하여 수소를 생산할 수 있는 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시상태는, 암모니아 수용액을 함유한 알칼리 전해액에 함침된 애노드를 포함하는 애노드부; 및 산성 전해액에 함침된 캐소드를 포함하는 캐소드부;를 포함하고, 상기 애노드부와 캐소드부는 바이폴라 분리막으로 구획되는 것인, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 간단한 구조를 통하여 효과적으로 암모니아 용액을 전해 분해하여 수소를 생산할 수 있는 장점이 있다. 또한, 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 바이폴라 분리막에 의하여 자체적으로 전해액의 pH가 조정되어, 별도의 pH 조정조가 필요하므로 많은 장점이 있다. 이를 통하여 장치가 차지하는 공간을 최소화할 수 있는 이점 또한 가지고 있다.

[0010] 나아가, 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 바이폴라 분리막을 이용하여, 고순도의 수소를 저전압에서 생산할 수 있는 이점도 가진다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시상태에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치의 모식도를 나타낸 것이다.

도 2는 실시예 1 및 비교예 1에 따른 수소 생산 장치에서의 과전압을 측정한 것을 나타낸 것이다.

도 3은 실시예 1에 따른 수소 생산 장치의 애노드 및 캐소드에서 발생하는 수소 및 질소를 분석한 결과이다.

도 4는 비교예 1에 따른 수소 생산 장치의 애노드 및 캐소드에서 발생하는 수소 및 질소를 분석한 결과이다.

도 5는 비교예 2에 따른 수소 생산 장치에서의 과전압을 측정한 것을 나타낸 것이다.

도 6은 실시예 1에 따른 수소 생산 장치의 알칼리 전해액에서의 KOH와 NH₃ 농도에 따른 성능 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 본 명세서에서 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0013] 본 명세서에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0014] 종래의 암모니아 수전해 기술은 암모니아 수용액의 전기화학적 전해를 통해, 수소 및 질소로 분리하는

공정이다. 상기 기술은 이론적으로 0.0591 V의 외부 에너지의 주입을 필요로 하지만, 실제 시스템에서는 과전압으로 인해 0.5 V 이상에서 구동이 되는 단점이 있고, 단일 용액에서 전기화학반응 및 가스 발생이 진행되어 추가적인 가스 분리 공정이 필요한 문제점이 있다. 이에 본 발명자들은 암모니아 수전해에 있어서 과전압을 낮추고, 생산되는 수소를 효과적으로 수집하기 위한 연구를 진행한 결과, 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

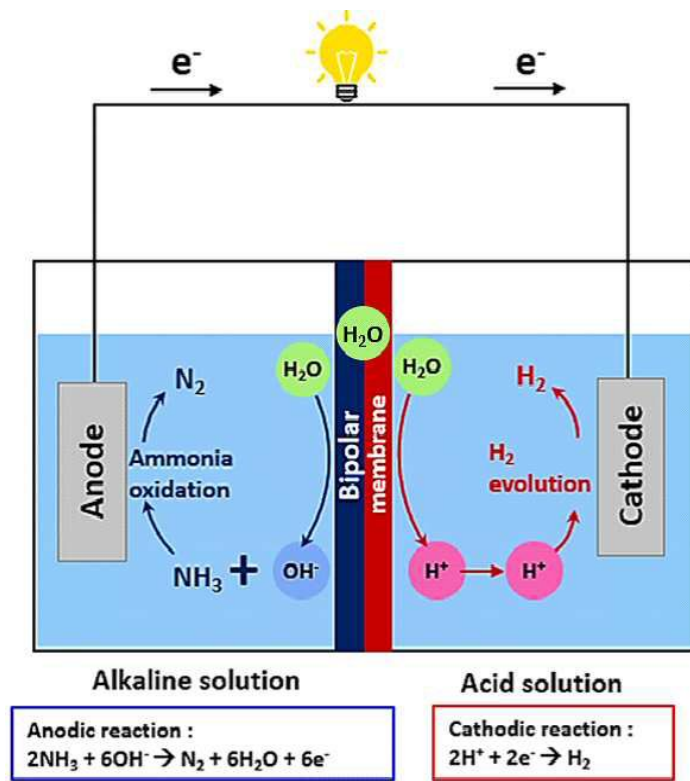
- [0015] 이하, 본 발명에 대하여 상세히 설명한다.
- [0016] 본 발명의 일 실시상태는, 암모니아 수용액을 함유한 알칼리 전해액에 함침된 애노드를 포함하는 애노드부; 산성 전해액에 함침된 캐소드를 포함하는 캐소드부; 및 인접한 상기 애노드와 캐소드를 구획하는 바이폴라 분리막을 포함하는, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치를 제공한다.
- [0017] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 바이폴라 분리막은 암모니아 수용액의 전해 분해 과정에서 분리막 계면에서 H^+ 이온과 OH^- 이온을 생성하여, 서로 다른 전해질 환경, 즉 애노드부의 알칼리 전해액 및 캐소드부의 산성 전해액에서의 애노드/캐소드 반응을 지속적으로 가능하게 할 수 있다. 또한, 상기 바이폴라 분리막을 적용하여, 암모니아 수용액을 전해 분해하는 경우, 애노드부와 캐소드부가 서로 분리되어 있으므로, 애노드부에서 생성되는 질소 gas와 캐소드부에서 생성되는 수소 gas를 분리하여 수집할 수 있게 할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 바이폴라 분리막은, 물의 해리에 의한 수산화 이온을 애노드 전해질로 투과시키고, 물의 해리에 의한 수소 이온을 캐소드 전해질로 투과시키는 것일 수 있다.
- [0019] 암모니아 수용액의 전해 분해 반응은 하기의 반응식과 같을 수 있다.
- [0020] (1) 캐소드 반응: $6H^+(aq) + 6e^- \rightarrow 3H_2(g)$
- [0021] (2) 애노드 반응: $2NH_3(aq) + 6OH^- \rightarrow N_2(g) + 6H_2O + 6e^-$
- [0022] (3) 분리막 반응: $6H_2O \rightarrow 6H^+ + 6OH^-$
- [0023] (4) 전체 반응: $2NH_3(aq) \rightarrow N_2(g) + 3H_2(g)$
- [0024] (5) 애노드의 경쟁 반응: $12OH^- \rightarrow 3O_2 + 6H_2O + 6e^-$
- [0025] 분리막을 사용하지 않고 암모니아 수전해 분해 반응을 수행하는 경우, 캐소드에서 생성되는 물질에 의하여 애노드에서의 암모니아의 산화 과정의 중간 생성물이 재환원 되거나, 캐소드에서 생성되는 암모니아 분해 생성물이 애노드에서 재환원되어 전체적인 암모니아 전해 분해 효율이 낮아지는 문제점이 발생할 수 있다.
- [0026] 또한, 바이폴라(양극성) 분리막이 아닌 음이온 교환막(음이온 분리막)을 사용하여 암모니아 수전해 분해 반응을 수행하는 경우, 애노드부에서의 알칼리 용액은 반응이 진행됨에 따라 OH^- 이온의 소모로 pH가 점차 낮아지게 되고, 일정 수준의 pH에 도달하게 되면 애노드부에서 수소 이온이 생성되어 급격히 pH가 낮아지게 된다. 또한, 캐소드부에서의 산성 용액은 반응이 진행됨에 따라 수소 이온의 소모로 pH가 점차 높아지게 되고, 일정 수준의 pH에 도달하게 되면 OH^- 이온의 생성으로 pH가 급격히 높아지게 된다. 이와 같은 pH 변화에 따른 문제를 해결하기 위하여, 음이온 교환막을 이용하는 암모니아 수전해 분해 장치는 pH-상승 전해조, pH-조정조 등의 부수적인 설비가 필요하다. 나아가, 전력을 전해조에 인가하는 경우, 인가된 전류량이 반응속도(암모니아 산화 속도)보다 느려야만 농도 분극 현상의 억제가 가능하고, 인가된 전류량이 암모니아 산화반응에 참여할 수 있는 암모니아 양보다 많다면, 상기 반응식(5)에서의 경쟁 반응(부반응)을 촉진시켜서 산소가 발생됨과 동시에 전압을 향상시키는 결과가 초래될 수 있다. 즉, 음이온 교환막을 이용하여 수소 생산량을 증가시키기 위하여는 전류량을 높여야 하며, 이에 따른 농도 분극 현상을 억제하기 위하여 인위적으로 OH^- 이온을 외부로부터 공급하기 위한 별도의 pH-상승 전해조가 필요할 수 밖에 없다.
- [0027] 이에 반하여, 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 바이폴라 분리막을 이용함으로써, 암모니아 수용액의 전해 분해 반응에 따라 애노드부의 알칼리 전해액 및 캐소드부의 산성 전해액의 pH를 일정한 수준으로 유지시킬 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치에서의 바이폴라 분리막은 물의 분해에 의한 수산화 이온을 애노드 전해질에 공급하고, 물의 분해에 의한 수소 이온을 캐소드 전해질에 공급함으로써 양쪽 전해질의 pH를 일정한 수준으로 유지시킬 수 있다.

- [0028] 나아가, 상기 바이폴라 분리막은 양쪽 극에서의 이온의 cross-over를 최소화시킬 수 있는 이점 또한 가지고 있다. 즉, 상기 바이폴라 분리막은 암모니아 수용액의 전해 분해 반응에서 캐소드부로부터 애노드부로 넘어오는 OH^- 이온의 양을 제한하여 전해질내 분극농도를 유지시켜 줌으로써, pH를 유지시킬 수 있도록 할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 바이폴라 분리막은 양이온과 음이온 교환막으로 구성되어 있으며, 상기 애노드부의 알칼리 전해액과 상기 캐소드부의 산성 전해액이 섞이지 않게 하며, 선택적으로 물의 분해에 따른 수산화 이온을 애노드 전해질에 공급하고, 선택적으로 물의 분해에 의한 수소 이온을 캐소드 전해질에 공급하는 역할을 할 수 있다.
- [0030] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 애노드 및 캐소드는 전해반응에 적용될 수 있는 전극을 제한 없이 사용할 수 있다. 구체적으로, 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 애노드 및 캐소드는 백금계 전극일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 애노드는 금속 폼 상에 백금이 증착된 전극일 수 있고, 상기 캐소드는 백금 와이어일 수 있다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 다양한 전극 소재가 사용될 수 있다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시상태에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치의 모식도를 나타낸 것이다. 도 1에 있어서, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 애노드부의 알칼리 전해액 및 캐소드부의 산성 전해액이 바이폴라 분리막에 의하여 구획되어 있으며, 애노드부 및 캐소드부에서의 전해 반응 과정이 설명되어 있다.
- [0032] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 애노드부의 알칼리 전해액 내의 암모니아의 농도는 0.1 M 내지 10 M일 수 있다. 구체적으로, 상기 애노드부의 알칼리 전해액 내의 암모니아의 농도는 1 M 내지 5 M, 또는 2 M 내지 3M 일 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 애노드부의 알칼리 전해액은 수용액 상태의 수산화칼륨을 더 포함할 수 있다. 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 애노드부의 알칼리 전해액에서의 수산화칼륨의 농도는 0.1 M 내지 10 M일 수 있다. 구체적으로, 상기 애노드부의 알칼리 전해액에서의 수산화칼륨의 농도는 3 M 내지 7 M 일 수 있다.
- [0034] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 캐소드부의 산성 전해액은 수용액 상태의 황산을 더 포함할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 캐소드부는 캐소드에서 생산되는 수소를 포집하는 수소 포집부를 더 포함할 수 있다. 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 바이폴라 분리막에 의하여 애노드부의 전해액과 캐소드부의 전해액이 분리되며, 이에 따라 애노드부에서 생성되는 gas와 캐소드부에서 생성되는 gas가 분리되어 각각 수집될 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 pH 조정조가 비 구비될 수 있다. 전술한 바와 같이, 본 발명에 따른 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 바이폴라 분리막에 의하여 애노드부 및 캐소드부의 전해액의 pH를 일정한 수준으로 유지시킬 수 있으므로, 별도의 pH 조정조가 필요 없다.
- [0037] 본 발명의 일 실시상태에 따르면, 상기 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 전해 분해 반응을 이용하는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치는 외부에서 인가되는 전압을 이용하여, 암모니아 수용액을 전해 분해하여, 수소를 생산할 수 있다.
- [0038] 이하, 본 발명을 구체적으로 설명하기 위해 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명에 따른 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 기술하는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않는다. 본 명세서의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.
- [0039] **[제조예] 전극 제조**
- [0040] 전착용 현탁액으로서 0.1 M의 과염소산(HClO_4 , 제조사 sigma aldrich) 200 mL에 2 mM의 $\text{H}_2\text{Cl}_6\text{Pt} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (제조사 Alfa aesar)를 전구체 성분으로 녹인 후, 2 시간 동안 균일하게 혼합이 되도록 교반하여 전기화학 증착용 용액을 제조하였다. 1 cm × 2 cm의 금속 폼(니켈 주성분의 두께 1.6 mm, 제조사: MTI Korea, 기공률: ≥ 95%)를 상기 증착용 용액에 담그고, 0.125 V 내지 -0.675 V (vs. Ag/AgCl)의 전압 조건에서 100 mV/s의 증착 속도로 전착하여, 백금이 증착된 전극을 제조하였다.

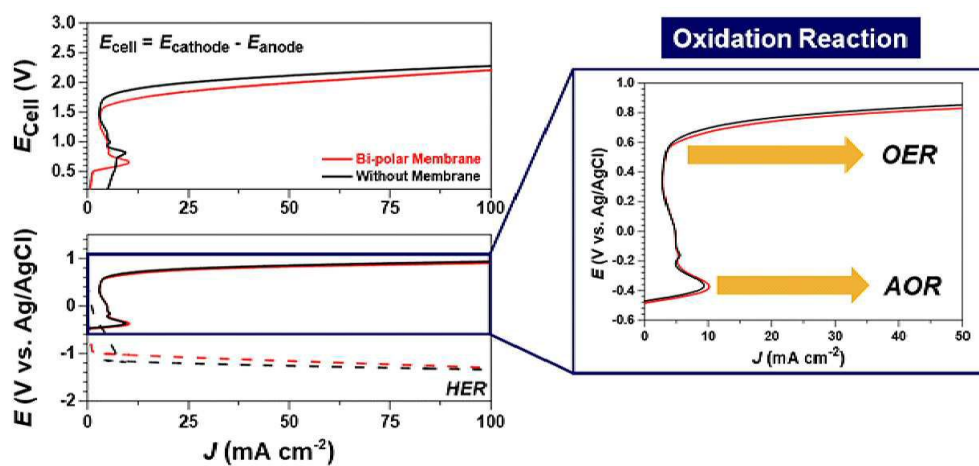
- [0041] **[실시예 1] 바이폴라 분리막을 포함한 수소 생산 장치**
- [0042] 작업전극(working electrode)으로서 상기 제조예에서 제조된 전극, 상대전극(counter electrode)으로서 Pt wire, 기준전극(reference electrode)으로서 Ag/AgCl 전극으로 구성된 3전극 시스템을 준비하였다. 바이폴라 분리막(bipolar membrane)은 FuelCell store 에서 구입(fumasep® FBM)하여 적용하였으며, 두께 약 130 μm 및 유효 면적이 49 cm^2 였다. 애노드부의 알칼리 전해액은 1 M 암모니아(NH_3)/5 M 수산화칼륨(KOH) 수용액을 사용하였으며, 캐소드부의 산성 전해액은 0.5 M H_2SO_4 를 사용하여, 암모니아 수용액을 이용한 수소 생산 장치를 구성하였다.
- [0043] 상기 수소 생산 장치에 외부 전압을 인가하여, 전해 분해를 수행하여 일정한 수소 기체를 발생시키기 위한 전압을 측정하여, 시스템 전체의 과전압을 측정하였다. 나아가, 가스 크로마토그래피(gas chromatography) 분석을 통하여 상기 수소 생산 장치에서 발생하는 수소 및 질소를 분석하였다.
- [0044] 도 6은 실시예 1에 따른 수소 생산 장치의 알칼리 전해액에서의 KOH와 NH_3 농도에 따른 성능 변화를 나타낸 것이다. 도 6에 따르면, 알칼리 전해액 내의 NH_3 농도가 2 M 내지 3 M인 경우, 및 KOH 농도가 5 M인 경우, 가장 우수한 성능을 구현하는 것을 확인할 수 있다.
- [0045] **[비교예 1] 분리막을 포함하지 않은 수소 생산 장치**
- [0046] 별도의 분리막 없이, 전해액으로서 1 M 암모니아(NH_3)/5 M 수산화칼륨(KOH) 수용액을 적용한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 생산 장치를 구성하고, 시스템 전체의 과전압 및 수소 생산 장치에서 발생하는 수소 및 질소를 분석하였다.
- [0047] 도 2는 실시예 1 및 비교예 1에 따른 수소 생산 장치에서의 과전압을 측정한 것을 나타낸 것이다. 구체적으로, 도 2에 따르면, 바이폴라 분리막을 적용한 실시예 1의 경우, 별도의 분리막을 적용하지 않은 비교예 1에 비하여 시스템 전체의 과전압이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한, AOR(ammonia oxidation reaction) 및 OER(oxygen evolution reaction)에서도 바이폴라 분리막을 적용한 실시예 1이 별도의 분리막을 적용하지 않은 비교예 1에 비하여 낮은 전압을 요구하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실시예 1에서의 바이폴라 분리막에 의한 과전압의 증가량보다 캐소드에서의 과전압 감소량이 크기 때문에 시스템 전체의 과전압이 낮아지는 결과로 해석된다.
- [0048] 도 3은 실시예 1에 따른 수소 생산 장치의 애노드 및 캐소드에서 발생하는 수소 및 질소를 분석한 결과이다. 또한, 도 4는 비교예 1에 따른 수소 생산 장치의 애노드 및 캐소드에서 발생하는 수소 및 질소를 분석한 결과이다. 도 4에 따르면, 별도의 분리막을 적용하지 않은 비교예 1은 질소 gas와 수소 gas가 혼합된 gas가 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반하여, 바이폴라 분리막을 적용한 실시예 1은 애노드부와 캐소드부가 구획되어 있어, 질소 gas와 수소 gas가 자발적으로 분리되어 생성되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0049] **[비교예 2] 음이온 교환막을 포함한 수소 생산 장치**
- [0050] 바이폴라 분리막 대신 음이온 교환막(Fumasep FAS-PET-75)을 적용한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 수소 생산 장치를 구성하고, 시스템 전체의 과전압을 측정하였다.
- [0051] 도 5는 비교예 2에 따른 수소 생산 장치에서의 과전압을 측정한 것을 나타낸 것이다. 도 5에 따르면, 음이온 교환막을 적용한 비교예 2는 전체 셀 전압의 상승을 확인할 수 있었으며, 이는 음이온 교환막에 따른 과전압이 추가된 것에 기인한 것으로 판단된다. 결과적으로 음이온 교환막을 적용한 비교예 2는 고전류 영역으로 갈수록 전체 시스템의 성능이 감소하는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 바이폴라 분리막을 적용한 실시예 1과 같이, 분리막이 없는 경우에 비하여 과전압의 저하에 대한 이점이 없었으며, 오히려 과전압이 높은 것을 확인할 수 있었다.

도면

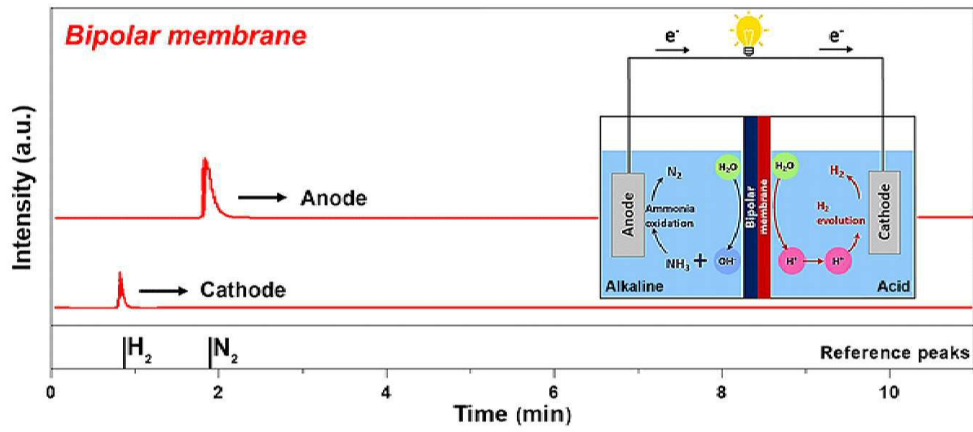
도면1



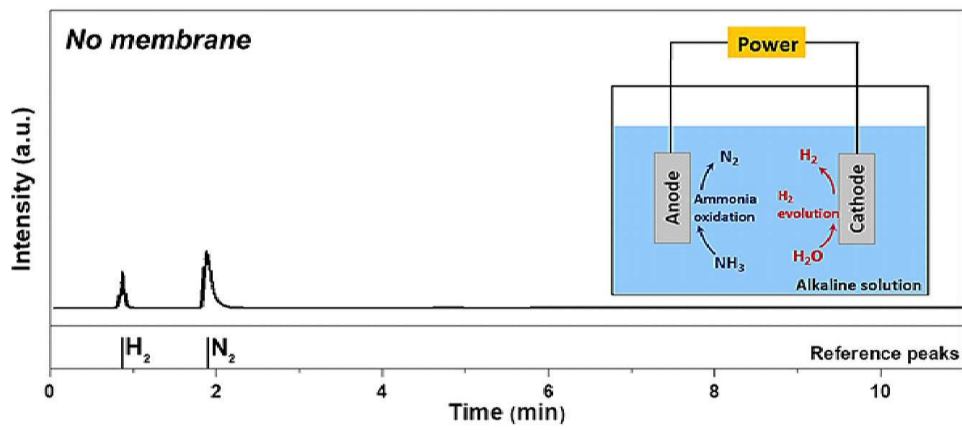
도면2



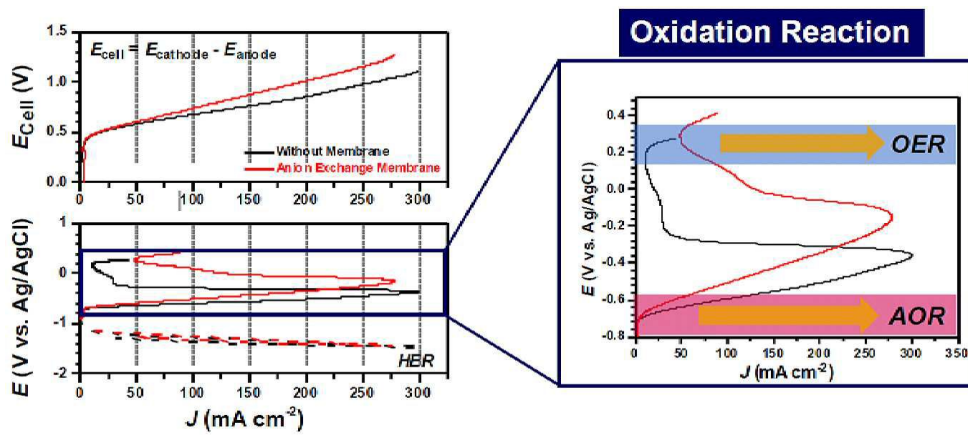
도면3



도면4



도면5



도면6

