



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0104916
(43) 공개일자 2013년09월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 8/02 (2006.01) B05D 1/18 (2006.01)

H01M 8/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0026873

(22) 출원일자 2012년03월16일

심사청구일자 2012년03월16일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

장호

서울 도봉구 창4동 27 주공아파트 1906동 1007호

이완규

서울특별시 중구 신당동 432-1825 두원남산빌라
5차 302호

신민욱

서울특별시 성북구 종암동 31-44 406호

(74) 대리인

특허법인충현

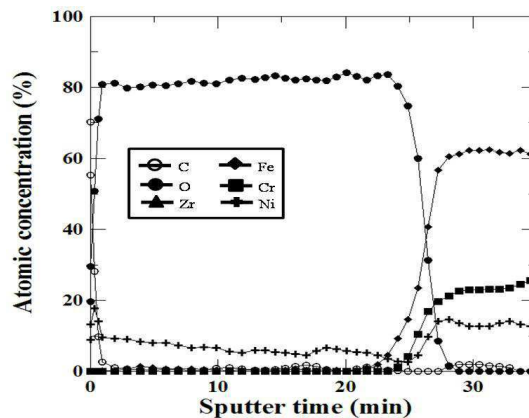
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **졸-겔 코팅법을 사용하여 NiO-YSZ를 코팅한 연료전지 분리판의 제조방법, 이를 이용한 연료전지 분리판 및 연료전지**

(57) 요약

본 발명은 내식성이 우수하고, 전기전도도 및 기계적 강도가 향상된 연료전지 분리판의 제조방법에 관한 것으로서, 니켈 전구체, 이트륨 전구체 및 지르코늄 전구체를 용매에 용해시켜 졸-겔 용액을 제조하는 단계, 상기 졸-겔 용액에 스테인리스 강을 딥 코팅하는 단계 및 상기 딥 코팅된 스테인리스 강을 열처리하는 단계를 포함하는 것으로 특징으로 하며, 본 발명에 따라 제조된 연료전지 분리판은 균일하고 안정된 산화니켈이 첨가된 이트리아 안정화 지르코니아(NiO-YSZ) 코팅층을 유지할 수 있어서, 가혹한 부식 조건에서 운전되는 고분자 연료전지 환경에서도 우수한 내식 저항을 가지며, 코팅층에 산화니켈이 텅가되어 종래의 지르코니아 코팅 분리판에 비하여 우수한 전기전도성과 향상된 기계적 강도를 갖는다. 또한, 본 발명에 따른 제조방법은 제조공정과 제조 비용면에서 공정 효율이 우수하여 경제적인 효과도 기대할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20110020470

부처명 한국과학재단

연구사업명 중견연구자지원_도약연구

연구과제명 브레이크(Brake) 성능향상을 위한 신소재 마찰재 개발

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2011.07.01 ~ 2012.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 니켈 전구체, 이트륨 전구체 및 지르코늄 전구체를 용매에 용해시켜 졸-겔 용액을 제조하는 단계;
- (b) 상기 졸-겔 용액에 스테인리스 강을 딥 코팅하는 단계; 및
- (c) 상기 딥 코팅된 스테인리스 강을 열처리하는 단계;를 포함하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 니켈 전구체, 이트륨 전구체 및 지르코늄 전구체는 니켈, 이트륨 또는 지르코늄을 각각 포함하는 알콕사이드, 염화물, 수산화물, 옥시수산화물, 질산염, 탄산염, 초산염, 옥살산염 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 1종인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 니켈 전구체는 니켈 나이트레이트 헥사하이드레이드이고, 상기 이트륨 전구체는 이트륨 아세테이트 헥사하이드레이트이며, 상기 지르코늄 전구체는 지르코늄 나이트레이트 하이드레이트인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 용매는 메탄올, 에탄올, 프로판올, 이소프로판 및 부탄올 중에서 선택된 1종을 포함하는 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 니켈 전구체는 상기 졸-겔 용액 전체 기준 5-30 중량%인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 단계의 딥 코팅은 4-6 cm/s의 속도로 2-3 회 반복한 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 (c) 단계의 열처리 온도는 700-900 °C이고, 열처리 시간은 60-90 분인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 단계와 (c) 단계 사이에 상기 딥 코팅된 스테인리스 강을 건조하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 (b)단계 이전에, 상기 스테인리스 강 표면을 연마하는 단계; 및 상기 연마된 스테인리스 강의 표면을 세정하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판의 제조방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 따라 제조된 연료전지 분리판으로서, 상기 연료전지 분리판은 산화니켈이 첨가된 이트리아 안정화 지르코니아(NiO-YSZ)층으로 코팅되어 있으며, 상기 코팅층의 두께는 0.1-1 μm 이고, Ni의 함량은 NiO-YSZ 코팅층 전체 대비 5-25 중량%인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판.

청구항 11

제 10 항에 따른 연료전지 분리판을 포함하는 고분자 전해질 연료전지.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 연료전지 분리판의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 내식성이 우수하고, 전기전도도 및 기계적 강도가 향상된 연료전지 분리판의 제조방법, 이를 이용한 연료전지 분리판 및 연료전지에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 연료전지는, 연료가 가지고 있는 에너지를 직접 전기적 에너지로 변환하는 장치로서, 연료로는 LNG, LPG, 가솔린 등이 개질기에서 정제되어 생성된 수소가스가 사용되거나 액체상태의 메탄올이 사용된다. 이러한 연료전지는 일반적으로 발전이 이루어지는 스택의 일 측에 연료 가스 공급라인과 공기 공급라인이 각각 연결되고, 상기 스택의 타 측에 반응하고 난 후의 배출 가스가 배출되는 배출라인이 구비된 구조를 갖는다. 상기 스택은 통상적으로 단위 셀(Single cell)이 적층된 것으로, 고분자 전해질 막의 양측에 각각 촉매층과 확산판이 접합되어 양극(Cathode)과 음극(Anode)이 되는 막-전극 어셈블리(Membrane-Electrode Assembly)를 이루고, 상기 막-전극 어셈블리의 양측에는 각각 가스 유로가 형성된 분리판이 밀착되어 있으며, 그 분리판의 양측에는 양극과 음극의 집전극이 되는 집전판이 밀착되는 구조를 가진다.

[0003] 현재까지의 연료전지 연구에 있어서, 막 전극 어셈블리를 지지하는 상기 연료전지의 분리판은 연료전지의 성능과 이의 상업적 사용을 저해하는 요소 중 하나로 평가되고 있으며, 이에 대한 많은 연구가 현재 진행되고 있다. 일반적으로 요구되는 연료전지의 분리판은 높은 내식 저항, 높은 기계적 강도, 전기적 충격에 대항하는 내구성, 가스투과성이 없어야 하는 기능적, 물리적 특성이 요구되며, 또한 낮은 제조 비용 등과 같은 경제성 역시 요구된다. 현재 기계적 그래파이트(graphite) 복합체가 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 이하 'PEMFC'라 칭하기도 한다.) 어셈블리의 분리판 재질로 널리 사용되고 있으나, 상기 그래파이트 복합체는 높은 비부피(specific volume), 낮은 내구성, 높은 제조비용 등에 의한 한계가 있으며, 따라서 현재 이를 대체하기 위한 금속 분리판이 연구되고 있다.

[0004] 하지만, 이러한 금속 분리판 역시 연료전지의 운전 중 분리막에서 발생하는 산에 대하여 낮은 내식 저항을 갖고 있어, 그 결과 전압강하 등과 같은 효율저하, 및 심한 경우 연료전지의 파손까지도 이를 수 있다. 따라서, 현재 상기 조건을 모두 만족하는 금속 분리판을 찾기 위하여, 티타늄, 알루미늄, 스테인리스 강 등과 같이 다양한 금속이 분리판의 재질로서 연구되고 있다. 하지만, 특히 강산 환경에 놓이는 PEMFC 어셈블리를 위한 분리판 재질은 아직까지 제안되거나 보고되지 않고 있다.

[0005] PEMFC 어셈블리의 분리판 재질 중 스테인리스 강은 상대적으로 낮은 가격과 분리판으로서의 적합한 물리적, 기계적 특성 때문에 상대적으로 우수한 재질로 평가받고 있다. 하지만, 상업적으로 가능한 PEMFC의 분리판은 장시간 산성 환경에 노출되므로, 상업적으로 가능한 PEMFC에서 사용하기 위하여는 스테인리스 강의 내식 저항이 향상되어야 할 필요가 있으며, 현재 스테인리스 강의 내식 저항을 향상시키기 위하여 화학 증기 증착(Chemical Vapor Deposition, CVD)법, 물리 증기 증착(Physical Vapor Deposition, PVD)법, 플라즈마 코팅(plasma coating)법, 전기도금법 및 표면질화처리(surface nitriding)법 등과 같은 다양한 코팅 기술이 사용되고 있다. 하지만, 상기의 방법들은 복잡한 설비가 필요하고 비용이 고가인 문제점이 있다.

[0006] 상기의 문제점을 극복할 수 있는 금속의 표면 처리 방법 중 가장 선호되는 것으로 졸-겔(sol-gel) 방법이 있다. 금속의 부식을 방지하기 위한 표면 처리 방법인 졸-겔 방법은 다양한 금속 표면의 세라믹 코팅 방법으로 널리 사용되어 왔다. 이것은 졸-겔 방법이 장비, 공정, 및 생산 비용 등의 관점에서 장점이 있기 때문이다. 졸-겔 방

법의 또 다른 장점은 금속과 비금속 모두에 대한 막의 좋은 부착성 때문이다. 졸-겔 방법은 증착 기술에 따라 딥 코팅(dip coating), 스프레이 코팅(spray coating) 및 스핀 코팅(spin coating) 등으로 구분되어 진다.

[0007] 금속판의 부식을 방지하기 위한 여러 가지 코팅 기술 중에 졸-겔 방법에 의한 지르코니아 코팅이 가장 선호되는데, 그 이유는 지르코니아가 산(acid)과 산화(oxidation)로부터 금속 기판을 화학적으로 뛰어나게 보호하여 높은 화학적 내구성을 제공하고, 지르코니아의 열팽창 계수가 많은 금속의 열팽창 계수에 가깝기 때문이다. 그러나, 연료전지용 분리판의 경우 내식성 코팅막의 균일성과 전기전도도가 매우 중요한데, 내식성 코팅막의 균일성이 떨어져 어느 부분에 코팅의 결함이 있는 경우에는 전지의 특성상 그 부분이 집중적으로 부식되어 전지의 효율이 급격히 저하된다는 문제점이 있었고 내식성 향상을 위해 세라믹 재료를 코팅하였을 경우 전기전도도가 떨어져 연료 전지 분리막으로 사용되기 위해 요구되는 전기전도도에 못 미치는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 스테인리스 강 분리판의 표면에 산화니켈이 포함된 이트리아 안정화 지르코니아(NiO-YSZ)를 균일한 두께로 코팅하여 내식저항, 전기전도도 및 강도를 향상시킬 수 있는 연료전지 분리판의 제조방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기 제조방법에 따라 제조된 연료전지 분리판 및 이를 포함하는 연료전지를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위하여,

[0011] (a) 니켈 전구체, 이트륨 전구체 및 지르코늄 전구체를 용매에 용해시켜 졸-겔 용액을 제조하는 단계;

[0012] (b) 상기 졸-겔 용액에 스테인리스 강을 딥 코팅하는 단계; 및

[0013] (c) 상기 딥 코팅된 스테인리스 강을 열처리하는 단계;를 포함하는 연료전지 분리판의 제조방법을 제공한다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 니켈 전구체, 이트륨 전구체 및 지르코늄 전구체는 니켈, 이트륨 또는 지르코늄을 각각 포함하는 알콕사이드, 염화물, 수산화물, 옥시수산화물, 질산염, 탄산염, 초산염, 옥살산염 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택된 1종일 수 있으며,

[0015] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 의하면, 상기 니켈 전구체는 니켈 나이트레이트 헥사하이드레이드이고, 상기 이트륨 전구체는 이트륨 아세테이트 헥사하이드레이트이며, 상기 지르코늄 전구체는 지르코늄 나이트레이트 하이드레이트일 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 용매는 메탄올, 에탄올, 프로판올, 이소프로판 및 부탄올 중에서 선택된 1종일 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 니켈 전구체는 상기 졸-겔 용액 전체 기준 5-30 중량%일 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 (b) 단계의 딥 코팅은 4-6 cm/s의 속도로 2-3 회 반복할 수 있다.

[0019] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 (c) 단계의 열처리 온도는 700-900 °C이고, 열처리 시간은 60-90 분일 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 (b) 단계와 (c) 단계 사이에 상기 딥 코팅된 스테인리스 강을 건조하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 다른 일 실시예에 의하면, 상기 (b)단계 이전에, 상기 스테인리스 강 표면을 연마하는 단계; 및 상기 연마된 스테인리스 강의 표면을 세정하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위하여,

[0023] 상기 제조방법에 따라 제조된 연료전지 분리판으로서, 상기 연료전지 분리판의 NiO-YSZ 코팅층 두께는 0.1-1 μm 이고, Ni의 함량은 NiO-YSZ 코팅층 전체 대비 5-25 중량%인 것을 특징으로 하는 연료전지 분리판을 제공하고,

이를 포함하는 고분자 전해질 연료전지를 제공한다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명에 따라 제조된 연료전지 분리판은 균일하고 안정된 산화니켈이 첨가된 이트리아 안정화 지르코니아(NiO-YSZ) 코팅층을 유지할 수 있어서, 가혹한 부식 조건에서 운전되는 고분자 연료전지 환경에서도 우수한 내식 저항을 가지며, 코팅층에 산화니켈이 텅가되어 종래의 지르코니아 코팅 분리판에 비하여 우수한 전기전도성과 향상된 기계적 강도를 갖는다. 또한, 본 발명에 따른 제조방법은 제조공정과 제조 비용면에서 공정 효율이 우수하여 경제적인 효과도 기대할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 본 발명에 따라 제조된 NiO-YSZ가 코팅된 316L 스테인리스 강의 AES(auger electron spectroscopy) 분석 결과이다.

도 2는 본 발명에 따라 제조된 NiO-YSZ가 코팅된 316L 스테인리스 강의 NiO의 첨가량에 따른 경계면 접촉 저항(interfacial contact resistance, ICR) 측정 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하, 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다.
- [0027] 본 발명은 졸-겔 코팅법을 이용하여 스테인리스 표면에 얇고 균일한 산화니켈이 첨가된 이트리아 안정화 지르코니아(NiO-YSZ)층을 형성하여 스테인리스 강의 내부식성을 향상시킬 수 있는 것으로 특징으로 하고, 또한 NiO를 코팅층에 추가로 첨가하여 기존의 지르코니아 코팅에서 문제가 되었던 전기전도성 및 강도를 향상시킨 것을 특징으로 한다.
- [0028] 본 발명에서 사용되는 스테인리스 강은 당업계에서 통상적으로 사용되는 것인 한 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어, 316L 오스테나이트(austenite) 스테인리스 강(steel)을 시편으로 사용할 수 있다. 상기 스테인리스 강을 코팅하기 전에 기관의 표면의 코팅 효율을 높이기 위하여 표면의 그리스를 제거하고 표면을 연마 처리하는 것이 바람직하다.
- [0029] 다음으로, 졸-겔 용액을 제조하기 위해, 우선 지르코늄, 이트륨, 니켈 전구체를 유기 용매에 용해하여 혼합용액을 제조하고, 전기전도도의 향상을 위하여 니켈 전구체의 양을 졸-겔 용액 대비 5-30 중량%로 혼합할 수 있다. 한편, 상기 유기 용매로 알코올을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0030] 그 다음으로, 상기 졸-겔 용액에 상기 스테인리스 강을 침지시켜 딥 코팅(dip coating)한다. 딥 코팅을 시행할 때의 침지(immersion) 속도는 막의 두께에 영향을 미치는데 본 발명의 바람직한 침지 속도는 약 4-6 cm/s 정도이다. 상기 침지 속도는 졸-겔 용액의 조성 및 코팅 막의 두께에 따라 달라질 수 있으며, 0.1-1 μm 두께의 코팅 막을 얻기 위해서 요구되는 속도이다. 한편, 본 발명에서 제조하고자 하는 막의 두께를 얻기 위해 상기 침지 속도로 2 내지 3 회 반복하여 딥 코팅하였다. 한편, 인상(start-up) 속도는 특별히 제한되는 것은 아니지만 상기 침지 속도와 동일하게 할 수 있다.
- [0031] 그 다음으로는 상기 침지시킨 스테인리스 강을 건조시킨다. 여기서 건조 온도와 건조 시간은 특별히 제한되지 않으나, 코팅층에서 크랙이나 포어의 발생을 방지하기 위하여, 본 발명에서의 건조 온도는 약 25-35 $^{\circ}\text{C}$ 정도가 적합하고 건조 시간은 약 1-2 시간이 적합하다.
- [0032] 상기 제조방법에 의해 제조된 NiO-YSZ 박막의 두께는 0.1-1 μm 이 바람직하며, 코팅층 박막의 두께가 0.1 μm 미만이면 기계적 강도가 떨어지고, 1 μm 를 초과하면 박막에 대한 스트레스 증가로 인하여 크랙이나 포어가 형성되고, 전기 전도도에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다.
- [0033] 이하, 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 그러나, 이들 실시예는 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이에 의하여 제한되지 않고, 본 발명의 범주 및 기술사상 범위 내에서 다양한 변경 및 수정이 가능함은 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 자명할 것이다.

- [0034] 실시예 1.
- [0035] (1) 열간 압연(hot rolled) 316L 오스테나이트 스테인리스 강을 졸-겔 코팅 공정의 대상 시편으로 사용하기 위하여, 두께 2 mm, 직경 16 mm의 형태로 절단하였고, 상기 절단 스테인리스 강을 #2000 SiC 연마지로 연마하여 평탄화시킨 후, 초음파 세정기를 사용, 아세톤으로 그리스 막 등을 제거한 후 대기압에서 24 시간 건조하여, 균일한 표면 조건을 갖는 스테인리스 강 시편을 준비하였다.
- [0036] (2) 전구체로서, $ZrO(NO_3)_2 \cdot H_2O$, $Y(NO_3)_3 \cdot H_2O$, $Ni(NO_3)_2 \cdot H_2O$ 을 에탄올에 혼합 용해시켜 졸-겔 용액을 제조하였으며, 이 상태로 딥 코터기를 사용하여 스테인리스 스틸을 담근 후 속도 5 cm/sec로 빼내어 상온에서 1 시간 동안 건조 후 아르곤 분위기의 전기로에서 800 °C 온도로 소결(calcination)하였다.
- [0037] 비교예 1.
- [0038] 상기 졸-겔 용액을 코팅하지 않은 상기 실시예 1-(1)의 스테인리스 강 시편을 준비하였다.

[0039] 시험예 1. 동전위 시험(potentiodynamic test)

[0040] 본 발명에 따른 NiO-YSZ 코팅 전후의 스테인리스 강에 대해서 고분자 전해질 연료전지의 구동 환경하에서 부식 거동을 위한 동전위 시험을 통하여 분석하였다. 70 °C에서 1 M 황산 용액에서 부식저항을 확인할 수 있는 테스트를 수행하였으며, 분리판의 중요한 요구특성인 접촉저항을 측정하였다. 부식저항에 관한 실험결과는 아래 [표 1]과 같다.

표 1

구분	부식 저항값	부식율(mm/년)
비교예 1 316L 스테인리스 스틸	288.32	1.642×10^{-2}
실시예 1 NiO-YSZ이 코팅된 스테인리스 스틸	1.3×10^4	0.429×10^{-3}

[0042] 상기 [표 1]에서 보는 바와 같이, 부식 저항값은 그 값이 높을수록 부식이 발생하기 어려움을 의미하는 것으로서, 본 발명에 따라 제조된 NiO-YSZ 코팅된 스테인리스는 기존 스테인리스 스틸보다 약 45 배 부식 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 이 값을 토대로 계산해보면 1 년에 따른 부식 정도가 1.642×10^{-2} 와 0.429×10^{-3} 로 크게 차이가 발생한다.

[0043] 시험예 2. AES를 이용한 표면 코팅층의 확인

[0044] 본 발명에 따라 NiO-YSZ가 코팅된 스테인리스 강의 표면의 깊이에 따른 프로파일(profile)을 AES(auger electron spectroscopy)를 이용하여 이온 스퍼터링(ion sputtering)를 하면서 조사하여 하기 도 1에 나타내었다.

[0045] 하기 도 1은 졸-겔 용액으로 딥 코팅된 표면에서 측정된 원소들을 나타내고 있는 것으로서, 스테인리스 강 표면에 Ni-YSZ층이 존재함을 확인할 수 있다.

[0046] 시험예 3. 경계면 접촉 저항(interfacial contact resistance, ICR)

[0047] 연료전지 분리판에서 가장 중요한 특성 중 하나인 전기전도도를 측정하기 위하여, 경계면 접촉 저항을 압축력(compaction force)에 대하여 측정하고, 그 결과를 하기 도 2에 나타내었다.

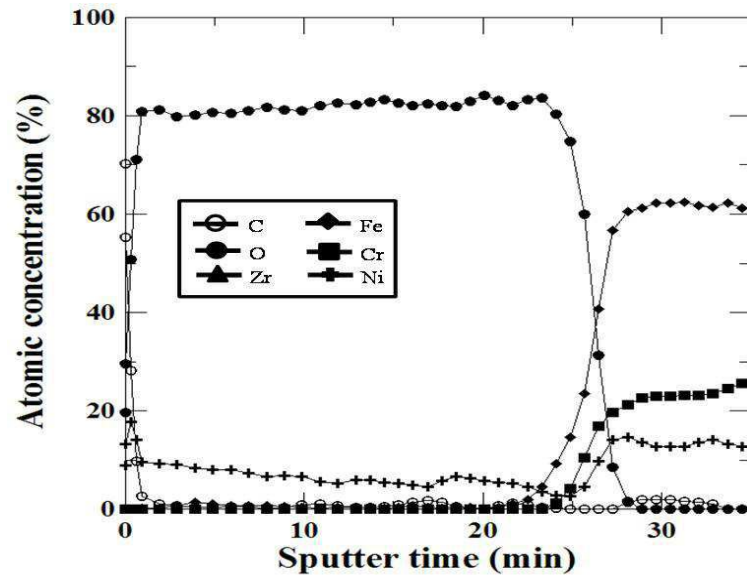
[0048] 도 2을 참조하면 본 발명에 따른 분리판은 NiO의 함량이 증가(5-35 중량% 범위)함에 따라서 경계면 접촉저항이 낮아져서 전기전도성이 향상됨을 알 수 있다. 특히, 종래 지르코니아로 코팅된 스테인리스 강 분리판은 높은 전기저항이 문제점이었으나, 본 발명에 따른 NiO-YSZ 코팅 분리판은 코팅층에 NiO를 첨가함으로써 전기저항을 낮

추고, 전기전도성을 향상시켜 기존에 사용되고 있는 그래파이트(graphite) 소재 분리판을 대체할 수 있는 수준으로 전기전도성이 향상되었다.

[0049] 상기와 같이, 본 발명에 따른 연료전지 분리판은 316L 스테인리스 강의 표면에 NiO-YSZ 박막층이 균일하고 안정적으로 형성되어 있어서 PEMFC의 작동 환경에서 견딜 수 있을 만큼 내식성이 우수하고, NiO 첨가에 따라 상용 PEMFC의 분리막에 요구되는 전기전도도를 갖추고 있으므로 PEMFC 분리판으로 활용이 가능할 것이다.

도면

도면1



도면2

