

전착법과 담금법에 의한 음극지지형 SOFC 지르코니아 전해질막 제조

김상우 · 이병호 · 손용배 · 송휴섭
한국과학기술연구원 세라믹공정연구센터
(1999년 2월 13일 접수)

Preparation of Electrolyte Thin Film for Anode Support Type Solid Oxide Fuel Cells by Electrophoretic Deposition and Dip-Coating

Sang Woo Kim, Byong Ho Lee, Yong Bai Son and Hue Sup Song

Ceramic Processing Research Center, Korea Institute Science and Technology, Seoul 136-791, Korea
(Received February 13, 1999)

초 록

다공성 NiO-YSZ 기판위에 전착법(EPD; Electrophoretic Deposition)법과 담금(Dip-coating)법에 의해 음극지지형 고체연료전지용 이트리아 안정화 지르코니아 박막 제조법을 연구하였다. 이를 위해 슬러리 농도 및 시간에 따른 박막의 무게, 박막의 결함 및 미세구조변화에 영향을 주는 제조조건들을 살펴 봄으로써 전착법과 담금법의 차이를 보았다. 담금법에서는 막생성 초기인 30초까지 막의 무게가 증가하지만 그 후에는 탈락이 일어나 시간을 증가하여도 막의 무게가 오히려 감소하였다. 전착법에서는 일계 인가전류 이상에서 시간에 따라 막의 무게가 증가하고 균일하고 치밀한 막이 형성하였다 전장이 매우 낮은 0.035 mA/cm^2 의 정전류를 120초 이상 장시간 인가하면 막의 흘러내림(sagging)으로 인한 결함이 발생하였다. 전착법에 의해 균일하고도 치밀하여 가스 누출성이 없는 음극지지형 고체산화물 연료전지에 적합한 전해질 박막을 제조할 수 있었다.

ABSTRACT

The preparation method of yttria-stabilized zirconia(YSZ) thin film for an anode support type solid oxide fuel cell(SOFC) by electrophoretic deposition(EPD) and dip-coating was studied. And the difference in both preparation methods was investigated through basic understanding of processing parameters which may significantly affect weight, microstructure, and defect of film. In dip-coating, the thickness of film increased with time until 30 s, and then the weight of film decreased with time due to particle falling off from the coagulated film. In EPD, although the weight of film increased with time and applied constant-current, sagging of the film was observed when the applied current was less than 0.035 mA/cm^2 and deposition time was more than 120 s. Since YSZ thin film by EPD on porous substrate was dense, smooth and homogeneous, it was expected to be suitable for the electrolyte of an anode support type SOFC.

Key words : SOFC, EPD, Dip-Coating, Thin Film, YSZ

1. 서 론

음극지지형 SOFC용 전해질막은 800°C 이하의 저온에서 작동할 수 있도록 지르코니아 막의 두께가 $20 \mu\text{m}$ 이하로 얇아야 하며 공기극과 연료극의 가스가 혼합되지 않도록 막은 기공이 없이 치밀하여야 한다.¹⁾ 얇고 치밀하면서 전해질 특성이 우수한 박막을 얻기 위해 현재 진공장비를 이용한 물리·화학적 증착법이나 용액에 의한 코팅법 등 다양한 산화물 박막 제조법이 연구되고 있다.²⁻⁶⁾ EVD(Electrical Vapor Deposition), CVD(Chemical Vapor Deposition) 등의 진공증착법은 다공성 기판위에 치밀하

면서 가스누출이 없는 지르코니아 박막을 제조할 수 있으나²⁻⁴⁾ 막형성 속도가 느리고 제조 단가가 비싸 대량생산에 적합하지 못하다는 문제점이 있다. 반면 용액 코팅법인 담금법이나 전착법은 진공증착법에 비해 장치와 공정이 간단하고 제조비용이 저렴할 뿐 아니라 막형성 속도가 빠르며 진공증착법에서 적용하기 힘든 대용적의 기판이나 복잡한 형상의 기판위에 치밀한 박막을 제조할 수 있는 강점을 가지고 있다.⁶⁻¹¹⁾

담금법은 주로 졸-겔 코팅 등에서 널리 사용하는 방법으로 막형성시 거리에 따른 두께 변화를 지배하는 제조조건에 대한 연구가 이론적으로 제시되고 있으나⁷⁻¹¹⁾ 다

공성 기판위에 생성되는 막의 두께변화, 미세구조, 막결합 등에 관한 연구는 아직 정립이 되어 있지 않다. 일반적인 치밀질 기판에서의 담금법 코팅은 주로 viscous drag, 중력 및 표면장력에 의존하지만 다공성 기판위에서의 코팅은 기판내 미세기공의 모세관력에 의해서도 영향을 받게 된다. 전착법에 의한 코팅은 위에 설명한 요인뿐 아니라 인가전기장이 입자이동의 구동력이 되기 때문에, 막의 무게 변화나 막형성 특성이 담금법과 차이가 날 것으로 예상된다 따라서 담금법과 전착법에 의해 다공성 기판위에 얇고 치밀하면서 전해질특성이 우수한 지르코니아 박막을 얻기 위한 제조 조건과 막 특성변화에 대하여 비교하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 다공성 NiO-YSZ 기판위에 담금법과 전착법의 용액 코팅법에 의하여 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ) 박막을 코팅하는 제조공정에 관하여 연구하였다. 담금법과 전착법에 의한 농도 및 시간에 따른 무게 및 미세구조변화, 막결합, 그리고 표면조도 등의 막 특성을 알아보고 비교함으로써 음극지지형 SOFC용 전해질 박막으로써의 가능성을 알아보하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 슬러리 제조

본 실험에서 제조된 전착용액은 무수 에탄올(CARLO ERBA)에 전해질로 PEI(polyethylenimine, Aldrich)를 고상분말에 대하여 1 무게분율을 첨가하고 이트리아 안정화 지르코니아(TZ-8Y, Tosoh사, Japan) 분말이 2 부피분율이 되도록 혼합하였다. 혼합용액을 볼밀에서 10시간 동안 분쇄한 후, 초음파분쇄기(ultrasonic homogenizer)로 10분간을 처리하여 현탁액을 준비하였다. 지르코니아 박막의 균일성과 소결성을 증대시키기 위하여 현탁액에 대하여 침강실험을 하였다. 분말부피가 2%인 현탁액을 준비하여 침강속도 계산으로부터 종말침강 입자크기가 0.6 μm 로 되도록 침강실험을 하였다. 종말침강 입자크기는 Stokes의 법칙에 의한 다음의 침강 속도식을 사용하였다.

$$U_s = \frac{gD_p^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} = \frac{h}{t}$$

여기서 g 는 중력가속도, h 는 입자가 침강하는 거리, D_p 는 입자크기, μ 는 유체 점도, ρ_s 및 ρ 는 분말 및 유체의 밀도, 그리고 t 는 입자가 침강하는 시간이다.

142시간 자연침강후 0.6 μm 이상의 입자를 제거한 현탁액의 농도는 1.29 부피분율이었으며, 현탁액을 회석하여 각각 0.25, 0.3, 0.35 부피분율의 지르코니아 슬러리를 제조하였다.

2.2. NiO-YSZ 기판 및 소결체 제조

중·저온형 SOFC에서 음극으로 사용하기 위한 NiO-YSZ 기판은 기공을 통하여 가스가 반응 site로 이동할 수 있도록 충분한 기공율을 가지고 있어야 한다¹⁾ 충분한 기공율을 가진 다공성 기판을 제조하기 위하여 NiO(Jung Dong Chem., Japan)를 45 무게분율, 안정화 지르코니아(TZ-8YS, Tosho사, Japan, 평균입도 0.25 μm)와 조립의 지르코니아(평균입도 2 μm)를 각각 17.8 무게분율, 그리고 흑연을 19.4 무게분율 혼합하여 볼밀에서 10시간 동안 혼합하였다. 혼합용액을 분무건조하여 과립을 만들었다. NiO-YSZ 과립 분말을 사각몰드에 넣고 1000 kg/cm^2 의 압력으로 일축가압한 성형체(18×18×2 mm)를 열처리한 후 밀도가 약 3.9 g/cm^3 인 기판을 제조하였다.

2.3. 박막제조

다공성 기판위에 전착법과 담금법에 의하여 지르코니아 박막을 제조하기 위한 제조공정을 다음에 설명하였다. 전착법에 의한 박막 제조시 전극간의 간격은 20 mm이었으며, 전극은 스테인레스 스틸을 사용하였다. 다공성 기판이 위치한 음극과 양극의 양단에 전원공급장치(Keithley 사, 237)로 0.035~0.138 mA/cm^2 의 정전류를 인가하였다. 담금법에 의한 박막 제조시에는 농도변화를 줄이기 위해 일정한 속도로 교반을 하면서 한면에 지르코니아 코팅을 하였다. 전착법과 담금법으로 지르코니아 막을 형성시킨 시편을 전기로에서 승온속도 3°C/min으로 1400°C까지 올린 후 2시간 유지하여 소결체를 제조하였다. 소결체의 표면과 단면을 SEM으로 관찰하여 미세구조, 코팅두께, 그리고 막결합 등을 비교 관찰하였다. 그리고 표면거칠기는 AFM(Atomic Force Microscopy, Park Scientific Instruments사의 M5)으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 무게변화

Fig 1은 침강전의 지르코니아 현탁액과 침강한 후의 현탁액을 각 위치별로 시료를 채취하여 원심침강법에 의해 입자크기 및 분포를 측정된 그림이다 침강전 현탁액의 평균 입자크기는 0.4 μm 인 반면, 자연침강후 상등액의 평균 입자크기는 0.3 μm 이고 바닥에 가라앉은 입자크기는 약 1 μm 이다. 침강전 현탁액에서 0.6 μm 이상의 입자는 25.8%이나 침강후 상등액에서 14.3%로 감소하여 큰 입자들이 자연침강으로 제거되었음을 알 수 있다. 전체 현탁액에서 약 25%에 해당하는, 바닥에 침강된 입자는 0.6 μm 이상의 입자들이 65.7%로 다량 존재함을 볼 수 있다. 자연침강으로부터 얻은 상등액은 입경 분포가 좁고 미세한 분말로 구성되어 지르코니아 박막을

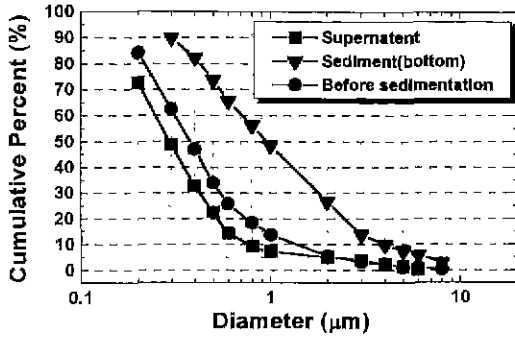


Fig. 1. Particle size distribution in yttria-stabilized zirconia suspension before and after sedimentation.

제조하기에 적합한 현탁액이었다.

Fig. 2 및 3은 Fig. 1의 자연침강후 얻은 상등액을 각각 0.25~0.35 부피분율과 0.25 부피분율이 되도록 희석하여 얻은 슬러리를 담금법과 전착법에 의해 다공성 기판위에 코팅한 건조막의 무게를 시간에 따라 보인 결과이다. Fig. 2의 담금법에서의 시간에 따른 무게변화는 실험한 농도조건에서 모두 10초에서 30초까지 무게가 증가하다가 30초를 지나서부터 120초까지 급격히 감소함을 보이고 있다. 120초 이상에서 600초까지는 느린 무게 감소를 보인다. 전착법의 Fig. 3은 0.25 부피분율 슬러리에서 정전류 0.035~0.138 mA/cm²를 인가했을 때 시간에 따른 무게증가를 보인 것으로 30초까지 급격한 무게 증가를 보이다가 30초 이상에서는 느린 속도로 무게가 증가한다. 담금법이 30초 이후에 급격히 무게감소가 일어나는 것과는 달리 전착법은 시간에 따라 지속적인 무

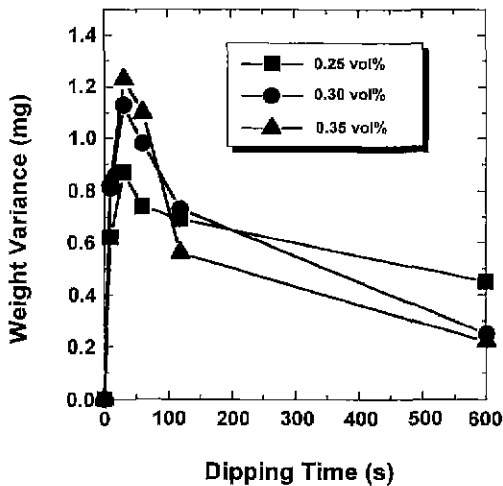


Fig. 2. Deposited weight variance of the YZS green films as a function of time by dip-coating for 0.25 vol% suspension.

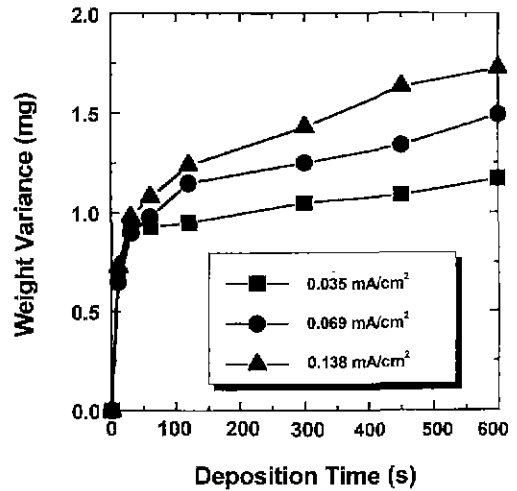


Fig. 3. Deposited weight variance of the YZS green films as a function of time by EPD, in different applied current. All slurries were 0.25 vol% suspension

게증가가 일어난다.

담금법과 전착법에서 Fig. 2 및 3과 같이 시간에 따른 무게변화 양상이 큰 차이를 보이는 것은 막이 생성되는 구동력의 차이에 기인하는 것으로 설명된다. 담금법은 초기 다공성 기판의 모세관 흡입력이 무게증가의 주 구동력이며, 전착법은 모세관 흡입력외 강제로 전극양단에 인가한 전기장의 세기가 구동력이 된다. 모세관에 의한 흡입력은 코팅초기에는 효과적이거나 일단 모세관으로 용액이 침투되면서 막이 형성되고 나면 크게 감소하게 된다. 따라서 담금법에서는 초기이후에는 입자이동의 구동력이 적어 시간이 더욱 증가하여도 막이 성장하기 어렵다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 담금법에서는 30초 이후에 오히려 형성된 막이 제거되어 급격히 무게가 감소함을 보인다. 반면 전착법에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 30초 이후에도 무게가 시간에 따라 지속적인 증가를 보이고 있어 인가한 전기장에 의해 입자들이 이동하여 형성한 막이 제거되지 않고 성장함을 알 수 있다.

Fig. 4은 전착시간을 600초로 일정하게 하고 슬러리의 농도 및 인가 전기장의 밀도를 변화시켰을 때 정전류 인가조건에 따른 건조막의 무게변화를 보인 것이다. 농도가 증가하면 무게가 증가하며 인가한 정전류에 따라서도 무게가 증가한다. 전착법에서는 담금법과 달리 실험한 슬러리 농도 및 인가 정전류의 모든 조건에서 600초의 장시간 동안 유지하여도 막무게가 증가함을 보이고 있다.

3.2. 건조막의 미세구조 및 결합

Fig. 5 및 6은 0.25 부피분율의 슬러리에서 각각 담금법과 전착법으로 제조한 건조막 표면의 미세구조를 관찰

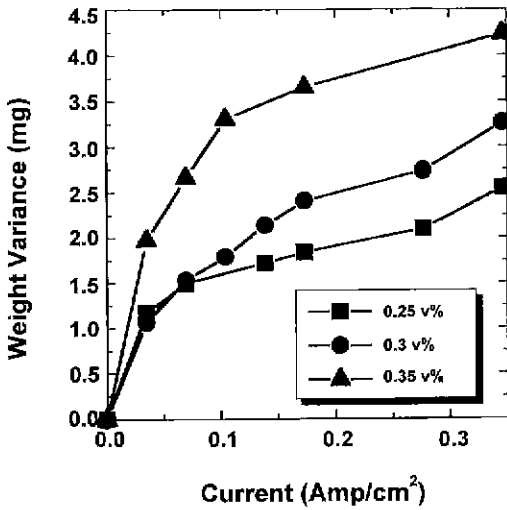


Fig. 4. Deposited weight variance of YSZ green thin films as a function of applied current for constant deposition time, of 600 s, in 0.25~0.35 vol% suspensions

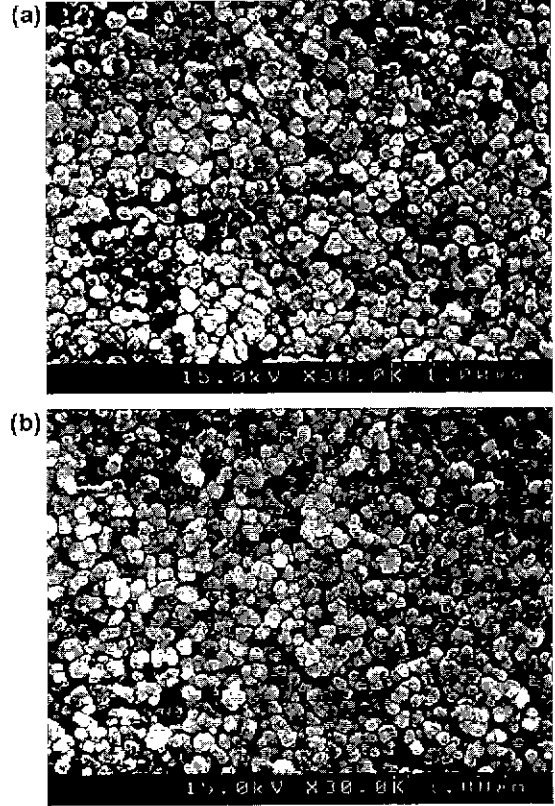


Fig. 6. SEM micrograph of surface of YSZ green films by EPD at constant current, 0.069 mA/cm^2 for (a) 30 s and (b) 600 s. All slurries were 0.25 vol% suspension.

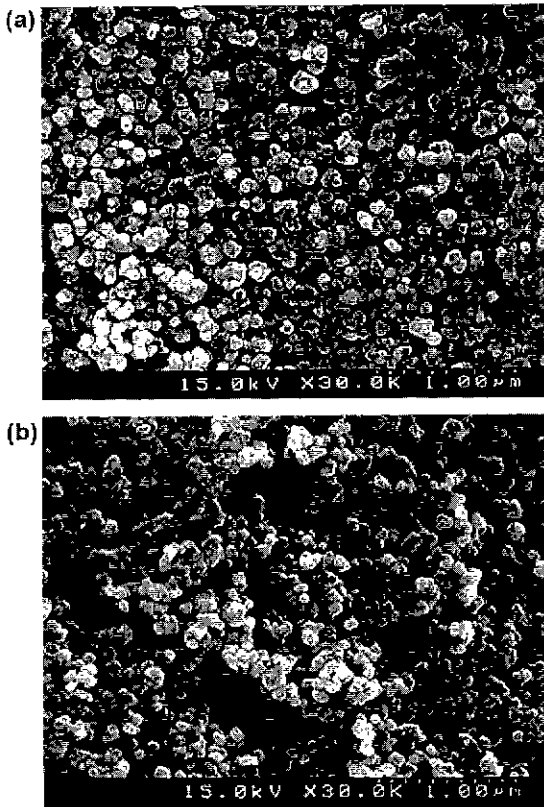


Fig. 5. SEM micrograph of surface of YSZ green films formed by dip-coating; (a) 30 s and (b) 600 s. All slurries were 0.25 vol% suspension.

한 SEM 사진이다. 담금법으로 30초간 코팅한 Fig. 5(a)는 전체적으로 균일하면서 치밀한 막이 형성된 반면 600초간 형성한 Fig. 5(b)는 막에 기공이 남고 느슨한 충전 구조를 보이고 있다. Fig. 6은 정전류 0.069 mA/cm^2 의 조건으로 전착법으로 제조한 막의 표면 사진이다. 전착법으로 30초간 형성한 Fig. 6(a)의 건조막과 600초간 형성한 Fig. 6(b)의 막을 비교해 볼 때 치밀함이나 균일한 면에서 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 분말부피가 0.25분율에서 담금법으로 10초(a) 및 600초(b)간 형성한 막, 그리고 전착법으로 정전류 0.035 mA/cm^2 를 10초(c) 및 600초(d)간 인가하여 제조한 막의 표면 사진이다. 담금법의 Fig. 7(a)에서는 코팅면이 균일한 반면 (b)에서는 전체적으로 막이 탈락되면서 두께가 매우 얇아져 코팅전인 다공성 NiO-YSZ 기판과 같은 색상을 보임을 관찰할 수 있다. 그러나 형성한 막이 자중에 의해 위에서 아래로 내려오는 막의 흘러내림(sagging)은 관찰할 수 없다.

0.035 mA/cm^2 의 낮은 정전류를 10초 인가한 Fig. 7(c)는 전체적으로 균일한 막이 형성된 반면 600초 동안 장

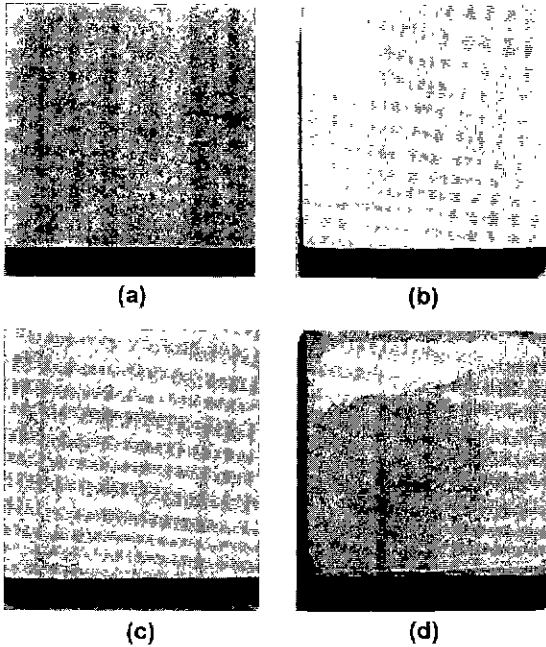


Fig. 7. Defect generation in YSZ green films prepared by dip-coating for (a) 10 s, (b) 600 s, by EPD in constant current, 0.036 mA/cm^2 for (c) 10 s and (d) 600 s. All slurries were 0.25 vol% suspension.

시간 증가하여 제조한 막인 (d)는 위에서 아래로 내린 막의 흘러내림이 발생함을 볼 수 있다. 막의 흘러내림은 시간이 120초 이하로 짧거나 정전류가 0.069 mA/cm^2 이상으로 높아지면 발생하지 않는다. 따라서 전착법은 정전류를 인가한 조건에 따라 막의 결함이 달라짐을 알 수 있다.

막의 결함이 담금법과 전착법에서 차이를 보이는 것은 형성된 막의 충전도와 막의 강도에 차이가 있음을 의미한다. 담금법에서 입자의 탈락이 일어나는 것은 충전된 막의 입자간 응집력이 작아 코팅시 용액의 침강방지를 위해서 교반하는 과정에서 떨어져 나가기 때문인 것으로 판단된다. 0.25~0.35 분율의 희박용액에서는 탈락현상이 일어나기 때문에 막의 두께를 증가하기 위해서 농도를 높여 짧은 시간에 코팅하여야 한다.

전착법에서는 막을 형성할 때 전기장을 가하기 때문에 입자간 강한 응축이 일어나게 된다. 이 때문에 막의 강도가 높아져 탈락이 일어나지 않은 것으로 판단된다. 막의 두께가 일정 두께 이상으로 두꺼워지면 자중 때문에 막의 흘러내림이 일어나게 된다. 전기장을 0.069 mA/cm^2 이상으로 높이면 코팅입자와 다공성기판 표면과의 부착력이 커져 막의 흘러내림을 방지할 수 있다.

3.3. 소결체 박막의 미세구조

Fig. 8은 분말부피가 0.25%인 슬러리를 각각 30초(a),

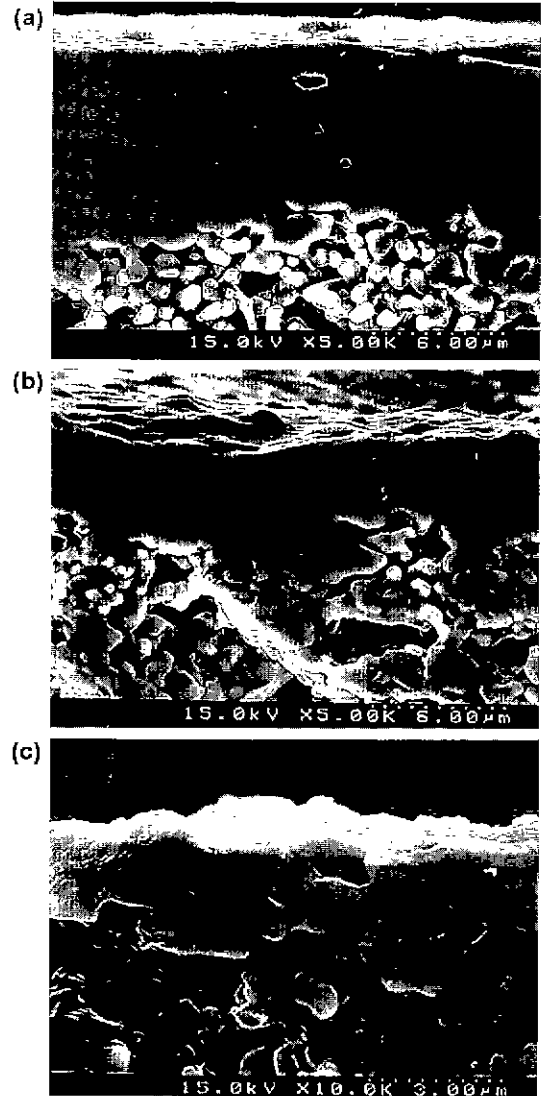


Fig. 8. SEM micrograph of the cross-sectioned surface of YSZ films sintered at 1400°C for 2 h. Sintered films were prepared by dip-coating for (a) 30, (b) 120 and (c) 600 s.

120초(b) 및 600초(c) 동안 담금법으로 제조한 소결체의 단면을 SEM 관찰한 것이다. 초기 30초에서는 막두께가 약 $8 \mu\text{m}$ 까지 증가하지만 120초에서는 약 $3.5 \mu\text{m}$ 으로 두께가 감소되며 시간이 더욱 증가하여 600초가 되면 약 $2 \mu\text{m}$ 이하로 감소된다. 이같이 30초 이후 시간의 증가에 따라 막의 두께가 감소하는 것은 탈락이 일어남을 보여준다. 음극지지형 SOFC에서는 두께가 얇을수록 연료 전지특성이 우수하지만 강도가 약하고 신뢰성이 문제가 되기 때문에 최소한 $5\sim 10 \mu\text{m}$ 정도의 균일한 두께가 요구된다. 단면의 미세구조에서 30초 코팅막은 많은 기공

이 생성되었음을 볼 수 있다.

Fig. 9는 분말부피가 0.25%인 슬러리를 정전류 0.069 mA/cm²에서 각각 30초(a), 120초(b) 및 600초(c) 동안 전착법으로 제조한 소결체의 단면을 SEM 관찰한 것이다. 소결체 막의 두께가 초기 30초에서 약 6.5 μm 이지 만 시간이 증가하여 600초가 되면 약 10 μm 이상으로 증가함을 볼 수 있다. 전착법에서는 전체적으로 균일한 막을 형성하며 SOFC의 가스누출에 문제가 되는 기공이 없음을 확인할 수 있다.

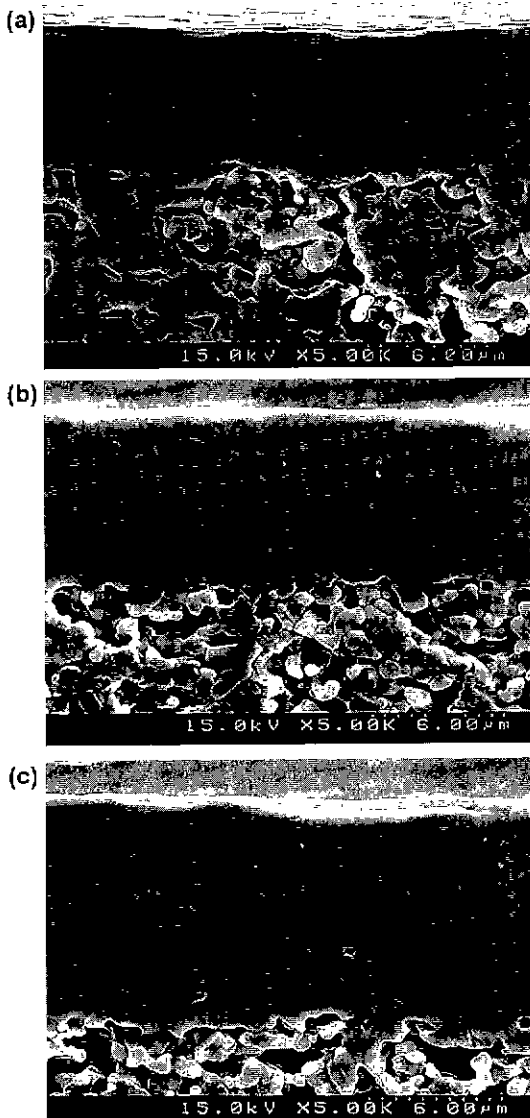


Fig. 9. SEM micrograph of the cross-sectioned surface of YSZ films sintered at 1400°C for 2 h. Sintered films were prepared by dip-coating for (a) 30, (b) 120 and (c) 600 s.

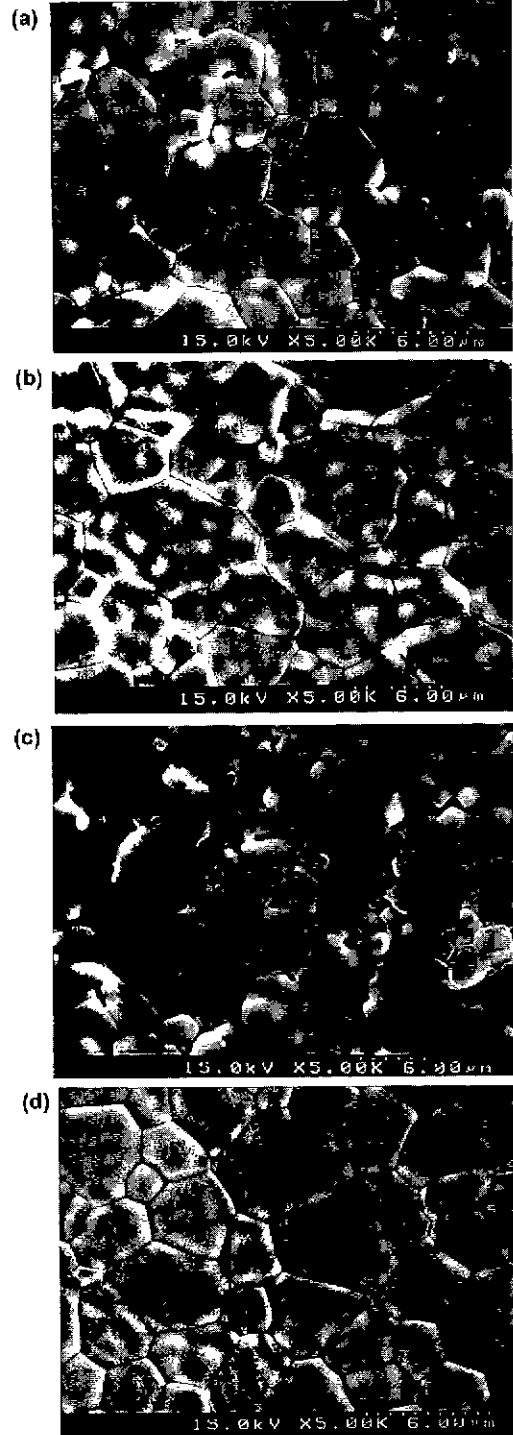


Fig. 10. SEM micrograph of surface of the sintered YSZ films prepared by (a) dip-coating for 30 s, (b) EPD in constant current, 0.069 mA/cm² for 30 s, (c) dip-coating for 600 s and (d) EPD in constant current, 0.069 mA/cm² for 600 s.

Table 1. Surface Roughness of Porous Substrate and Green and Sintered YSZ Thin Film Deposited by EPD and Dip-Coating

	Experimental Condition	Average Roughness(μm)	Remarks
NiO-YSZ Substrate before EPD	Uniaxial Press · 1 ton/cm ²	0.848	Alpha Step* (5×5 mm)
Green Zirconia Film	Constant Current : 0.035 mA/cm ² , 30 s	0.094	AFM** (100×100 μm)
	Constant Current : 0.035 mA/cm ² , 10 s	0.174	"
	Dip-Coating : 10 s	0.349	"
Sintered Film : 1400°C. 2 h	Constant Current : 0.035 mA/cm ² , 30 s	0.276	"
	Constant Current : 0.035 mA/cm ² , 10 s	0.410	"
	Dip-Coating : 10 s	0.665	"

*Alpha step (PI)-TENCOR INSTRUMENTS. P1. LONG SCAN PROFILER.

**AFM-PARK SCIENTIFIC INSTRUMENTS. M5. AFM.

Fig. 10은 0.25 부피분율의 슬러리를 각각 30초와 60초간 담금법과 전착법으로 제조한 소결체 막의 표면을 SEM 관찰한 결과이다. Fig. 10(a)의 담금법으로 제조한 지르코니아 박막표면은 다소 거칠고 기공이 관찰된다. Fig. 10(b)의 정전류를 0.069 mA/cm² 인가한 막의 표면은 담금법에 비하여 보다 치밀하고 균일함을 나타내고 있다. (c)의 담금법으로 제조한 막표면은 입자의 탈락에 의하여 기공이 많이 생성된 반면 (d)의 정전류를 인가하여 제조한 막에서는 균일하고 기공이 없는 매우 치밀한 막이 형성됨을 볼 수 있다.

Table 1은 AFM(Atomic Force Microscopy)에 의해서 측정된 지르코니아 박막의 표면조도를 나타낸 것이다. 박막을 제조하기 전의 다공성 음극기판의 경우 평균표면조도가 0.848 μm 로 매우 큰 반면 담금법으로 10초간 막을 형성한 건조막은 0.349 μm 로 감소되었고, 정전류 0.035 mA/cm²를 인가한 전착법에 의한 막은 10초에서 0.174 μm , 30초에서 0.349 μm 로 크게 감소되고 있다. 1400°C. 2시간 소결 후에는 표면조도가 담금법의 막은 0.665 μm 로, 전착법의 막은 0.41 및 0.276 μm 로 되어 건조막보다 증가를 보인다. 담금법으로 제조된 막은 전착법으로 제조된 막보다 표면이 거칠음을 알 수 있다. 이 결과는 정전류법에 의한 전착법이 담금법보다 균일한 막이 제조되었음을 보여준다.

담금법과 전착법은 시간에 따른 막의 두께저동에 큰 차이를 보이며, 형성된 막의 미세구조와 결합 또한 차이를 보이는 것은 입자이동에 대한 구동력의 차이에 의한 것으로 설명된다. 담금법에서는 구동력이 작용하는 초기에는 막두께가 증가하나 시간이 흐를수록 형성된 막이 교반에 의해 씻겨서 떨어져 나가 오히려 두께가 감소하는 현상을 보인 반면, 전착법에서는 외부로부터 인가한 전기장에 의해 두께가 시간에 따라 계속 증가함을 보여 주고 있다. 전착법은 담금법보다 형성된 막이 치밀하고

균일한 것 역시 입자이동 구동력이 막형성에 영향을 줌에 따른 것으로 판단된다. 다공성 기판위에 전착법에 의해 제조된 지르코니아막은 얇으면서 균일하고 치밀하여 음극지지형 고체연료전지의 전해질 막으로 응용이 가능하였다.

4. 결 론

다공성 NiO-YSZ 기판위에 전착법과 담금법으로 고체산화물 연료전지에 적용하기 위한 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ) 박막을 제조한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 담금법에 의하여 제조된 지르코니아 박막은 증착시간이 증가할 때 30초까지 증가하는 경향을 나타내었으나 30초 이후에는 형성된 막의 탈락현상에 의하여 무게가 감소하였다. 막형성 시간이 600초로 장시간이 되면 탈락이 심해져서 기공이 발생하였다.

2. 정전류를 인가하여 전착법으로 제조한 지르코니아 박막은 시간이 증가함에 따라 막무게가 계속 증가하였다. 전착법에서 인가전류가 0.035 mA/cm²으로 낮고 120초 이상 장시간 막을 형성하면 막의 흘러내림이 발생하였으나 인가전류를 0.065 mA/cm² 이상으로 높이면 방지할 수 있었다.

3. 전착법으로 제작한 박막은 표면거칠기가 작고 균일하면서 기공이 거의 없는 치밀한 미세구조를 가지고 있어 음극지지형 고체산화물 연료전지에 적합한 전해질 박막이었다.

감사의 글

본 논문은 KIST의 기관고유과제인 2E15890으로 수행되었기에 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. N. Q. Minh, "Ceramic Fuel Cell," *J. Am. Ceram. Soc.*, **76**(3), 563-588 (1993).
2. T. Ogawa, T. Ioroi, Y. Uchimoto, Z. Ogumi and Z. Takehara, "A Novel Method for Preparation of Ni/YSZ Cermet by Vapor-Phase Processes"; pp. 479-483 in *Proc. of the 3th Int. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells*, Edited by S. C. Singhal and H. Iwahara, The Electrochemical Society, Pennington N. J. 1993.
3. Y. Aihara, S. Ito and S. Kawasaki, "Preparation of YSZ Films on Air Electrodes by the Thermal Spray-Sintering Process"; pp. 180-186 in *Proc. of the 4th Int. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells*, Edited by M. Dokiya, O. Yamamoto, H. Tagawa, and S. C. Singhal, The Electrochemical Society, Pennington N. J. 1995.
4. H. Sasaki, M. Suzuki, T. Sogi, A. Kajimura and E. Yagasaki, "Current Status of the Fundamental Studies on SOFC at OSAKA Gas"; pp 187-1194 in *Proc. of the 4th Int. Symp. on Solid Oxide Fuel Cells*. Edited by M. Dokiya, O. Yamamoto, H. Tagawa and S. C. Singhal, The Electrochemical Society, Pennington N. J. 1995.
5. T. Ishihara, K. Sato and Y. Takita, "Electrophoretic Deposition of Y_2O_3 -Stabilized ZrO_2 Electrolyte Films in Solid Oxide Fuel Cells," *J. Am. Ceram. Soc.*, **79**(4), 913-919 (1996).
6. 김상우, 이병호, 손용배, 송휴섭, "전착법에 의한 다공성 NiO-YSZ 기판위에 SOFC용 전해질 막막제조(I)." *요업학회지*, **36**(5), 521-530 (1999)
7. P. Sarka and P. S. Nicholson, "Electrophoretic Deposition(EPD): Mechanisms, Kinetics and Application to Ceramics." *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **75**(11), 48-51 (1996).
8. 이병우, "MOD법에 의한 ITO 투광성 도전박막의 제조 및 물성." *요업학회지*, **35**(4), 413-419 (1998).
9. C. J. Brinker, C. S. Ashley, R. A. Carncross, K. S. Chen, A. J. Hurd, S. T. Reed, J. Samuel, P R. Schunk, R. W. Schwartz and C. S. Scotto, "6. Sol-Gel Derived Ceramic Films-Fundamentals and Applications"; pp. 118-124 in *Metallurgical and Ceramic Protective Coating*, Edited by Kurt H. Stern. Chapman & Hall, 1996.
10. C. J. Brinker, A. J. Hurd, G. C. Frye, K. J. Ward and C. S. Ashley, "Sol-Gel Thin Film Formation," *J. Non-Crystalline Solids*, **121**, 294-302 (1990).
11. C. J. Brinker, G. C. Frye, A. J. Hurd and C. S. Ashley, "Fundamentals of Sol-Gel Dip Coating." *Thin Solid films*, **201**, 97-108 (1991).