

LSGM 전해질과 LSM 양극의 합성분말을 이용한 SOFC 단위전지의 특성

이미재[†] · 남중희 · 최병현
요업기술원 신기능재료연구부
(2001년 12월 31일 접수; 2002년 3월 22일 승인)

Cell Properties for SOFC Using Synthesized Powder of Electrolyte LSGM System and Cathode LSM System

Mi Jai Lee[†], Jeong-Hee Nam and Byung Hyun Choi

Division of Advanced Functional Materials Research, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-023, Korea
(Received December 31, 2001; Accepted March 22, 2002)

초 록

고체산화물 연료전지의 운전온도를 낮추기 위해 구성재 중 LSGM 전해질과 LSM 양극을 합성하고, 그 특성을 조사한 후 최적 조성과 공정으로 단위전지를 제작하고 출력을 측정하였다. 전해질 조성인 $(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ 와 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ 를 1500°C에서 6시간 소결한 경우 두 조성 모두 LaGaO₃의 단일상을 형성하였고, 10~30 μm의 결정 크기를 갖는 치밀한 미세구조를 얻었으며, 전기전도도는 800°C에서 0.13 S/cm를 나타내었다. 양극의 경우 GNP법으로 $(La_{1-x}Sr_x)MnO_3$ 를 합성한 경우 Sr의 양이 0.2 mole일 때까지는 LaMnO₃ perovskite 단일상이 생성되었으며, 입자의 크기는 약 40 nm였다. 단위전지는 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ 조성으로 소결한 전해질 양면에 $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 양극과 0.9NiO-0.1YSZ 음극을 각각 스크린 인쇄법으로 코팅하고 1200°C에서 1시간 열처리하여 제작하였다. 단위전지에서 양극과 음극의 입자크기는 1 μm 정도였고 다공성을 나타내었다. 이때 단위전지의 출력은 800°C에서 약 0.3 W/cm²를 나타내었다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the properties of LSGM electrolyte and LSM cathode. The unit cell based on the optimum conditions and processing for high performance was fabricated and measured. The single phase of LaGaO₃ was obtained on sintering at 1500°C for 6 h with composition of $(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ and $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$. The grain size of the sintered body was about 10~30 μm and electrical conductivity was 0.13 S/cm measured at 800°C. The single phase of LaMnO₃ structure in $(La_{1-x}Sr_x)MnO_3$ system was obtained at x=0~0.2 and the particle size of the synthesized powder was about 40 nm. The unit cell was prepared by firing at 1200°C for 1 h with $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ cathode and 0.9NiO-0.1YSZ anode screen-printed on surfaces of $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ electrolyte. The grain size of the electrode was close to 1 μm and the electrode had porous structure. The maximum power density of unit cell showed 0.3 W/cm² at 800°C.

Key words : $(La_{1-x}Sr_x)(Ga_{1-y}Mg_y)O_{3-\delta}$, Electrolyte, Perovskite, SOFC

1. 서 론

현재 지구의 대부분의 연료는 화석연료에 의한 것으로 많은 공해문제와 연료의 고갈이라는 문제를 안고 있기 때문에 최근 새로운 연료전지가 개발되고 있다. 새로운 대체연료전지 중 특히 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell)는 공해가 없고 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 효율이 높은 장점으로 인해 각광받고 있다.^{1,2)}

고체산화물 연료전지는 전해질, 양극, 음극, 연결자 및 밀봉재 등으로 구성되어 있는데, 이 중 전해질은 전기전도도 특성이 우수하여야 하기 때문에 이에 대한 연구가

활발히 진행되고 있다. 양극과 음극은 전해질의 양면에 후막 또는 박막형태로 도포하기 때문에 전해질과 특성, 특히 열팽창계수등이 유사하여야 하며, 치밀한 소결체보다 다공성을 나타내도록 하는 경우가 일반적이다.³⁻⁶⁾

전해질로 주로 사용되는 물질은 안정화 지르코니아와 ABO₃ perovskite 구조를 갖고 있는 LaGaO₃계 등이 알려져 있다. 최근 LaGaO₃ 자체보다 LaGaO₃에 일부 다른 불순물을 첨가함으로써 더 높은 산소이온전도 특성을 나타낸다는 연구가 보고되고 있다.⁷⁻⁹⁾

한편 양극재료는 YSZ, LaCoO₃, LaMnO₃, CeO₂, 복합체가 있는데, 그 중에서도 perovskite 구조인 LaMnO₃, LaCoO₃에서 La³⁺ 자리에 Sr²⁺와 Ca²⁺ 치환시킨 치환형 LaMnO₃계나 치환형 LaCoO₃계가 우수한 전기전도도 특

[†]Corresponding author : im1004@kicet.re.kr

성을 나타낸다고 알려져 있다. 이때 LaCoO_3 의 경우 출력이 감소하는 경향이 있으나, LaMnO_3 의 경우는 출력이 증가하는 특성을 나타낸다고 보고되고 있다.¹⁰⁻¹²⁾

따라서 본 연구에서는 SOFC용 구성재 중 전해질과 양극의 특성을 향상시키고자 조성 및 제조방법에 따른 영향을 검토하였다. 전해질로는 pseudocubic perovskite 구조인 LSGM($(\text{La}_x\text{Sr}_{1-x})(\text{Ga}_y\text{Mg}_{1-y})\text{O}_3$)계를 선정하여 La와 Ga 자리에 전기음성도 차가 작고 이온반경이 유사한 Sr과 Mg를 치환하여, 치환 양 변화와 소결온도에 따른 결정상, 미세구조, 전기전도도 등을 고찰하여 조성을 최적화 시키고자 하였으며, 공기극은 LaMnO_3 에서 La 대신 Sr을 치환한 LSM($(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{MnO}_3$)를 선정하여, 전기전도도 특성 향상을 위해 GNP(Glycine-Nitrate Process)법으로 분말을 합성하였고, 합성 후 특성을 조사한 후 본 연구의 전해질에 공기극으로 사용하였을 때 적합한가를 고찰하였다. 또한 연료극 재료로는 NiO-YSZ(Y_2O_3 doped ZrO_2) 조성을 사용하였다.

2. 실험방법

2.1. 단위전지의 제조

고체산화물 연료전지의 단위전지를 제작하기 위하여 Fig. 1의 공정에 따라 전해질, 양극(공기극), 음극(연료극)을 각각 제조하였다.

고체전해질은 출발원료의 순도가 La_2O_3 와 Ga_2O_3 가 99.99%, MgO 와 SrCO_3 가 99.9%인 고순도화합물을 사용하여 단일상이 형성되고, 전기전도도가 높은 ($\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}$)($\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}$) $\text{O}_{3-\delta}$ 조성과 ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}$)($\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}$) $\text{O}_{3-\delta}$ 조성을 선정하여 1500°C에서 6시간 동안 소결하여 제조하였다.¹³⁾

양극용 분말은 공정도에 나타난 바와 같이 GNP법으로 제조하였다. 먼저 장량분석을 행하여 정확한 농도를 알고 있는 La, Sr 및 Mn 질화물 상태의 수용액을 Sr의 양의 0.1~0.5 mole까지 변화시켜 실험을 행하였다. 이때 glycine의 양은 2 mole로 하였으며 반응온도는 80°C로 하였다. 반응 후 얻어진 분말은 1000°C에서 2시간 하소하여 페이스트화 하였다. 또한 음극은 경우 NiO와 YSZ를 각각 0.9 mole과 0.1 mole로 혼합하여 페이스트화 하였다.

단위전지는 지름 37 mm로 소결된 전해질의 양면을 두께 0.7 mm가 되게 연마한 후, 전해질 표면에 앞서 제조한 양극과 음극 페이스트를 지름 10 mm가 되게 스크린 인쇄하여 후막화 한 후 1200°C에서 1시간 열처리하였다.

2.2. 특성측정

합성한 고체전해질과 양극의 생성상은 X-선회절분석기(Mac. Scince, AXPHE, 일본)를 이용하여 30 kV, 15 mA에서 scanning speed를 5°/min로 하여 측정하였고, 미세구조 관찰은 표면을 Au 코팅하여 SEM(ABT-32, Topcon사, 미국)으로 관찰하였다. 합성한 양극분말의 열적 전이과정은 열분석장치(TAS-100, Rigaku사, Japan)를 이용하여 분석하였으며, 입자형상, 크기 및 응집 정도를 조사하기 위하여 TEM(CM-1213 TEM, Philips사, Netherlands)을 사용하여 관찰하였다. 또한 전기전도도는 제조된 bar형 시편의 양단에 Pt 전극과 0.3 mm 두께의 Pt wire로 전극을 설치한 후 1000°C에서 10분간 열처리하였는데, 특히 Pt wire를 감을 때 나타나는 전도도의 표준편차 값이 주로 시편 가공으로 인하여 형상계수의 오차에서 비롯되는데 이를 최대한 줄이기 위해서 시편의 길이와 두께는 길이가 두께의 4배 이상으로 시편의 길이를 정하였으며, 전극

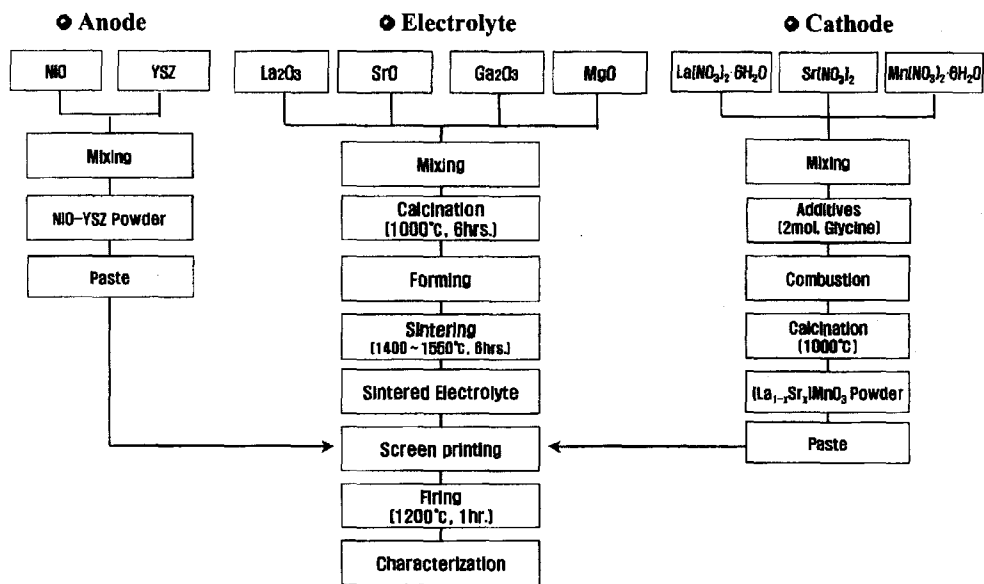


Fig. 1. Experimental procedure of SOFC unit cell.

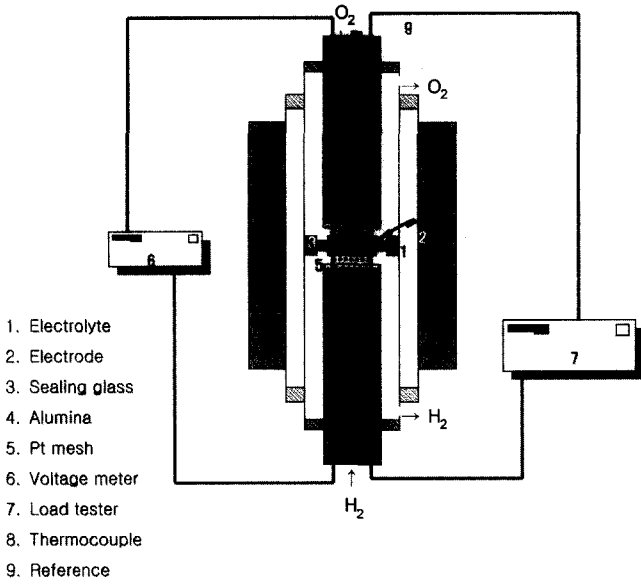


Fig. 2. Configuration of the SOFC unit cell testing equipment.

을 흘리는 외부전극의 경우 시편의 끝에서 시편길이의 1/10 바깥쪽에 전압을 읽는 내부전극의 경우 외부전극 사이의 간격의 1/2내에 있도록 설치하여 전압을 측정 후 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\sigma = (IA)/(Va)$$

- σ : 전기전도도
- l : 시편 내부의 전극의 길이
- A : 시편 외부전극으로 흐르는 전류
- V : I-V meter로 측정되는 전압
- a : 시편의 단면적

또한 양극/전해질/음극의 각 계면에서 일어나는 반응을 살펴보기 위해 EPMA(JXA-89 00R, JEOL사, Japan)를 이용하였고, 구성된 단위전지의 출력은 Fig. 2의 출력측정 장치로 H₂와 O₂ gas를 이용하여 1000, 900 및 800°C에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전해질 특성

단위전지를 제작하기 위하여 합성한 전해질은 전 보에서 보고한 바와 같이 (La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ}와 (La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ} 조성에서 단일상을 나타내었고, 전기전도도가 높게 나타났다.¹³⁾ 따라서 이 두 조성을 선정하여 1500°C에서 6시간 소결한 전해질의 결정상에 대한 X-선 회절도를 Fig. 3에 나타내었다. 두 조성 모두 LaSrGa₃O₇와 LaSrGaO₄의 2차상은 나타나지 않고, 두 조성 모두 Sr과 Mg가 치환 고용된 LaGaO₃ 단일상 만이 나타나고

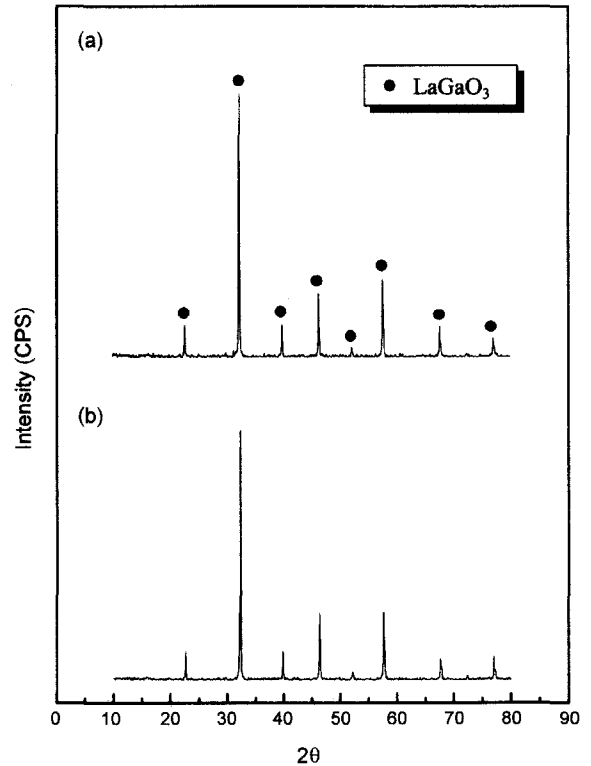


Fig. 3. XRD patterns of the electrolyte sintered at 1500°C for 6 h. (a) (La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ} and (b) (La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ}.

있었다.

Fig. 4는 1500°C에서 6시간 동안 소결한 전해질 표면의 미세구조 변화를 나타낸 것으로, 두 조성 모두 결정립 크기는 약 10~30 μm 내외로 비슷한 크기를 나타내고 있고, 입자의 형상도 육각모양으로 매우 치밀한 구조를 나타내고 있다. 그러나, (La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ} 조성의 경우 (La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ} 조성에 비해 입자의 크기와 형상은 유사하나 입계의 두께가 달라지는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 Sr 및 Mg의 첨가량이 증가할수록 소결온도가 낮아지고, 이로 인해 입계가 달라지는 것으로 보여진다.^{8,9)}

(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ}와 (La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-δ} 조성으로 1500°C에서 6시간 소결한 전해질에 대해 1000°C ~ 600°C까지의 전기전도도를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 두 조성 모두 유사한 값을 나타내고 있는데, 1000°C에서 0.3 S/cm 정도의 값을 나타내었고, 800°C에서 각각 0.135와 0.127 S/cm의 높은 값을 나타내었다.

3.2. 양극 특성

양극재의 경우는 GNP법을 이용하여 Fig. 1의 제조공정으로 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃를 합성하였는데, 합성한 분말의 DTA-TG 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

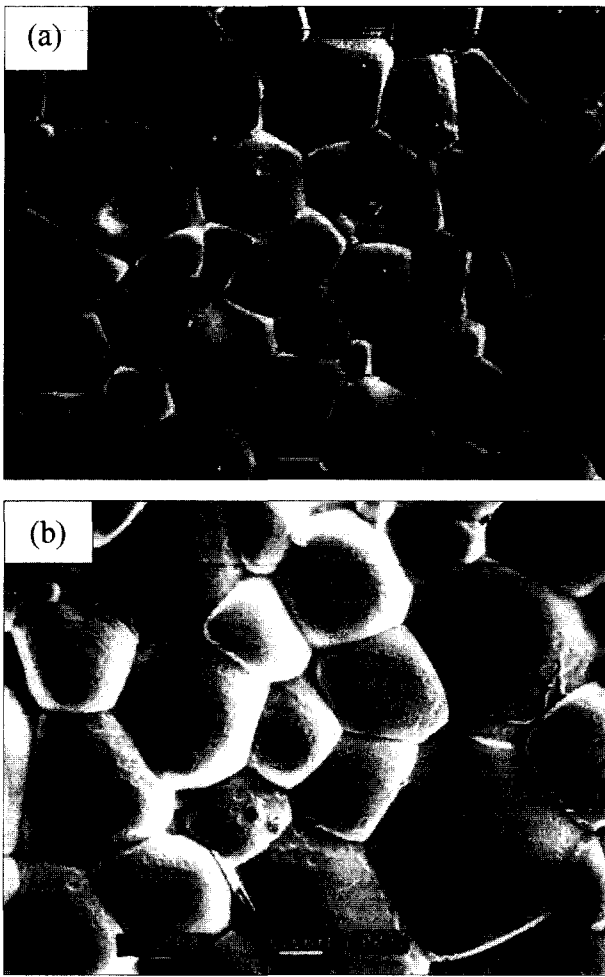


Fig. 4. Microstructure of the electrolyte sintered at 1500°C for 6 h. (a) $(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ and (b) $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$.

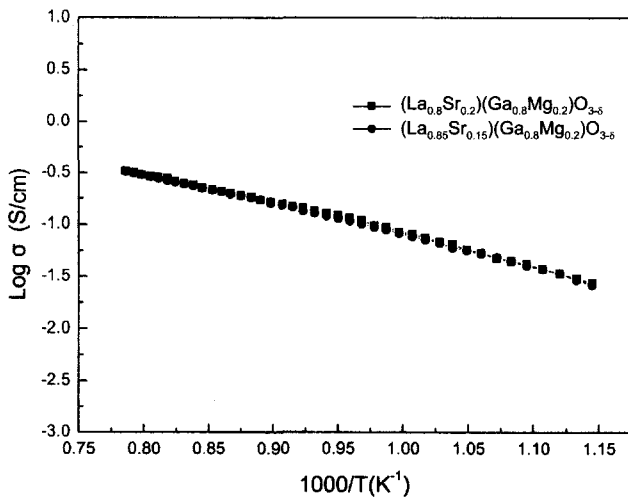


Fig. 5. Electrical conductivity of the $(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ and $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3-\delta}$ electrolyte sintered at 1500°C for 6 h.

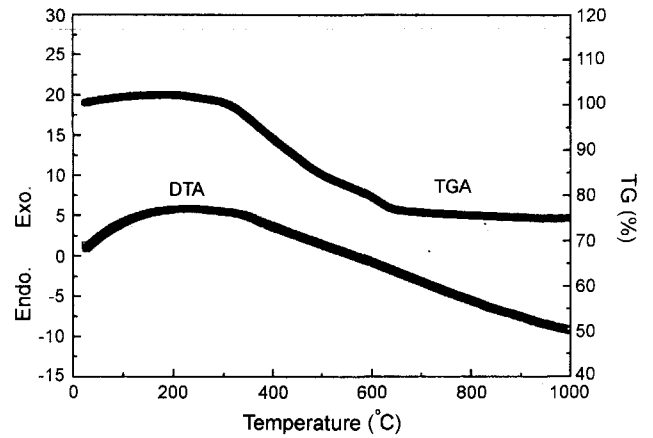


Fig. 6. DT-TG curve of $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_{3-\delta}$ cathode synthesized using GNP process.

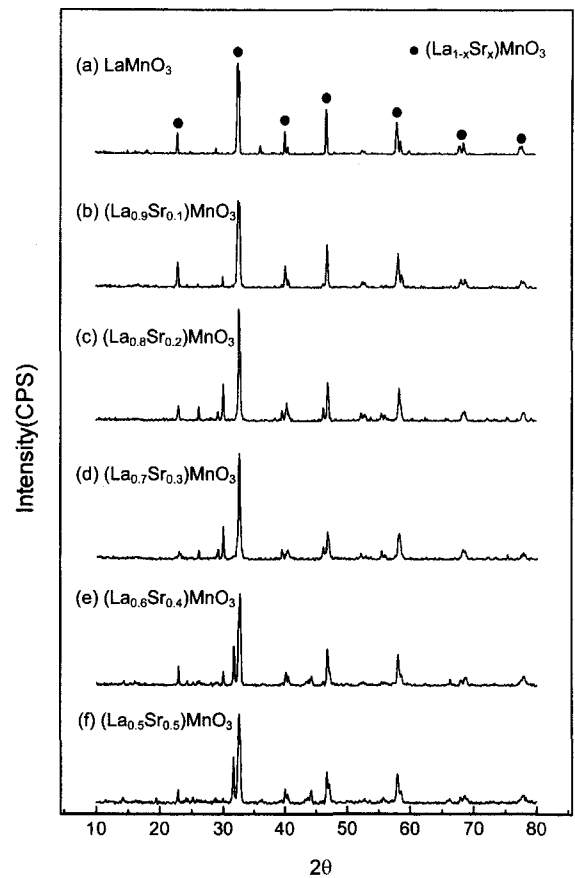


Fig. 7. XRD patterns of $(La_{1-x}Sr_x)MnO_{3-\delta}$ cathode synthesized with Sr addition (Calcination temp. and time : 1000°C, 2 h).

그림에서 보면 전 온도범위에 걸쳐 broad한 회절도가 나타나고 있는데, 이러한 경향은 GNP법으로 합성한 분말의 경우 높은 온도에서 순간적으로 연소가 진행되어 합성된 분말로서 결정상의 전이나, 새로운 결정상의 생성이

없기 때문으로 보인다. 또한 합성한 분말을 열처리한 경우 300~600°C 구간에서 약 25% 감량이 나타났는데 이는 유기물의 분해에 따른 것으로 보인다. 이때 전체 감량의 대부분이 이 구간에서 일어나는 것은 glycine 분자가 가지고 있는 carboxylic acid group와 amine group에 의해 metal 양이온이 효과적으로 혼합되었기 때문으로 보인다.³⁾

Fig. 7은 1000°C에서 2시간 동안 하소한 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃ 분말의 Sr 첨가량에 따른 X-선 회절분석 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 살펴보면 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃ 단일상의 회절 peak는 Sr의 첨가량이 0.2 mole까지 나타나며, Sr의 첨가량이 0.3 mole인 (La_{0.7}Sr_{0.2})MnO₃ 조성부터는 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃ 상 외에 다른 불순물 peak가 발견되고 있다. 이 불순물 peak는 하소온도 증가에 따라 증가하고 있고, Sr 첨가에 따라 서도 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 Sr의 첨가량을 증가시키면 perovskite 구조에서 나타나는 peak의 분리가 일어나는 것을 볼 수 있는데, 이는 Sr의 첨가량이 증가하면 Mn의 이온반경이 줄어들어 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃ 분말의 구조가 정방정에서 능면정으로 변화되기 때문이다. 또한 peak의 분리는 눈에 띄게 나타나고 있고, 이때의 intensity도 매우 큰 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 GNP법으로 glycine의 첨가량을 2.0 mole로 하여 합성한 (La_{0.9}Sr_{0.1})MnO₃ 분말의 하소온도에 따른 X-선

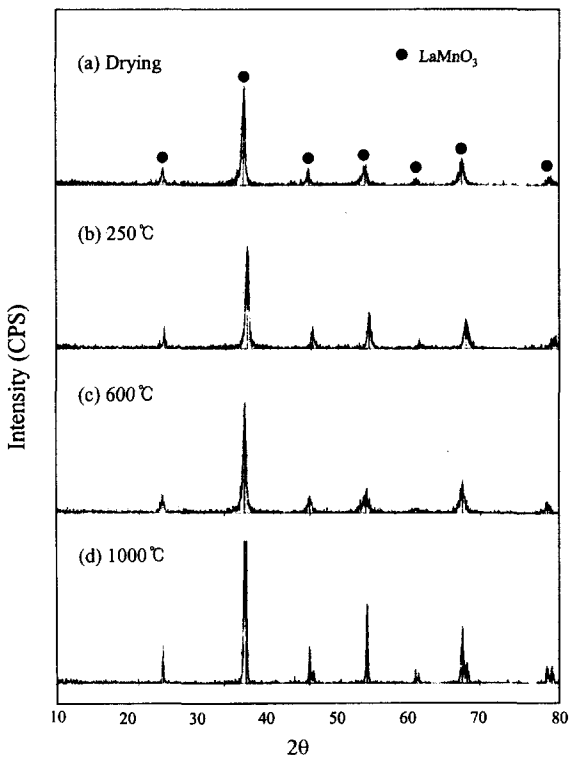


Fig. 8. XRD patterns of (La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_{3-δ} cathode powder with calcination temperature.

회절분석 결과를 나타낸 것이다. 하소온도 증가에 따라 결정상의 변화는 없으나, 건조한 경우 이미 LaMnO₃ 결정상을 나타내고 있으며, 온도를 1000°C로 상승시킨 경우 결정상의 intensity가 증가한 것은 결정이 잘 발달하고 있음을 알 수 있다. 한편 1000°C에서 2시간 하소한 경우 각 peak에서 일부 peak의 분리가 일어나고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 Sr을 첨가한 경우에도 나타나고 있는데 LaMnO₃계에 있어서 Mn⁺⁴의 함량이 증가할수록 B 위치에 있는 Mn 이온의 이온반경이 줄어들어 이에 따라 정방정보다는 능면정의 구조를 갖게된다고 보고하고 있는 것과 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.¹⁴⁾ 특히 25° 근처에서 나타나는 (La_{1-x}Sr_x)MnO₃의 peak는 Sr의 함량이 증가하고, 하소온도가 상승할수록 크게 나타나는데 이는 정방정에서 능면정으로 구조의 변화를 촉진하기 때문으로 보인다.

GNP법으로 합성한 (La_{0.9}Sr_{0.1})MnO₃ 양극을 투과전자현미경을 이용하여 330 K 배로 관찰한 분말 형상과 1200°C에서 2시간 열처리한 후 미세구조를 관찰하여 Fig. 9에 나타내었다. 합성하여 건조한 분말인 (a)의 경우 입자의

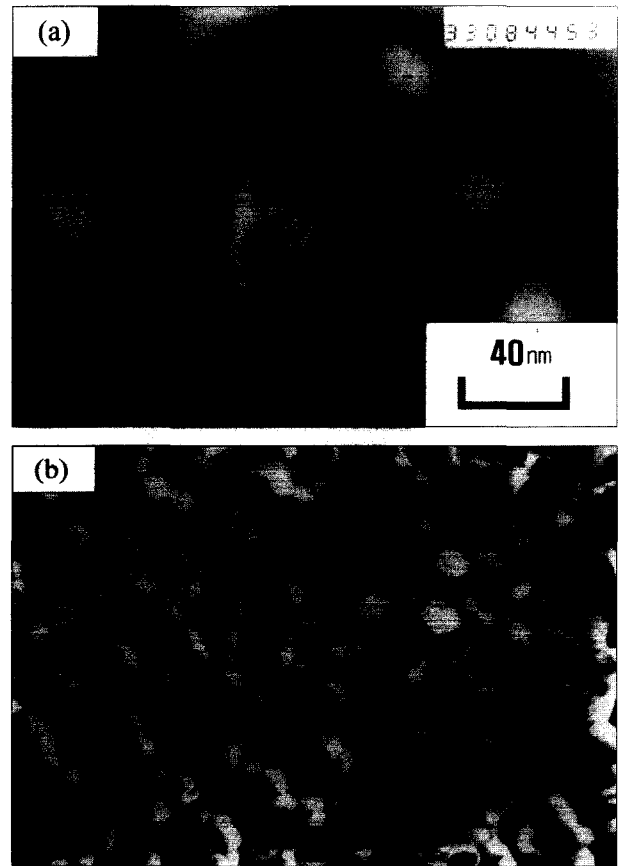


Fig. 9. Particle shape and Microstructure of (La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_{3-δ} cathode (a) synthesized powder and (b) heat-treated powder.

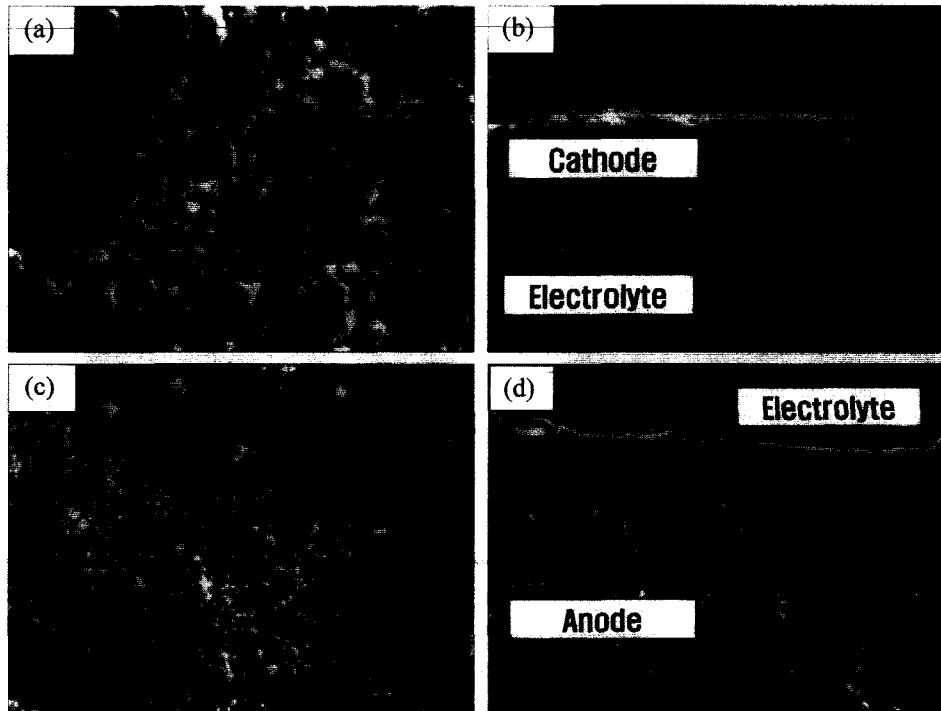


Fig. 10. Microstructure of surface and cross section of electrode applied on electrolyte and fired at 1200°C : (a) surface micrograph of cathode, (b) cross-sectional micrograph of cathode, (c) surface micrograph of anode and (d) cross-sectional micrograph of anode.



Fig. 11. EPMA of surface and cross section of cathode fired at 1200°C based on electrolyte.

크기는 30~40 nm의 매우 미세한 입자크기를 나타내고 있으며, 약간 희미하게 되어 있는 것은 유기물이나 수분이 부착되어 있기 때문이다. 이러한 입자의 크기는 하소

조건에 따라 달라지는데, 1200°C에서 2시간 열처리한 (b)의 경우 입자의 크기는 약 1~2 μm으로 매우 작고 균일한 것을 볼 수 있다.

3.3. 전해질에 양극과 음극을 스크린 인쇄한 후의 특성

공기극 $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 와 연료극 0.9NiO-0.1YSZ를 페이스트화하여 소결시킨 전해질 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 양면에 각각 스크린 인쇄하고, 건조하여 $1200^\circ C$ 에서 1시간 열처리한 후 그 표면과 단면을 Fig. 10에 나타내었다. (a)와 (b)는 양극의 표면과 단면을 나타낸 것으로 입자의 크기도 $1\mu m$ 내외이고, 형상도 구형인 것을 확인할 수 있으며, 또한 많은 기공을 포함하고 있으면서 입자와 입자가 서로 연결되어 있음을 볼 수 있다. 또한 전해질에 인쇄된 양극의 두께는 $5\sim 10\mu m$ 정도였고, 서로 반응은 일어나지 않았다. (c)와 (d) 경우는 음극의 표면과 단면을 나타낸 것으로 양극과 유사한 입자크기 및 인쇄상태를 나타내고 있는 것이 확인되었다.

Fig. 11은 $1500^\circ C$ 에서 6시간 동안 소결한 전해질 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 에 cathode $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_{3.8}$ 를 후막 인쇄하여 $1200^\circ C$ 에서 1시간 동안 열처리한 단위전지의 EPMA 분석 결과이다. 전해질 성분인 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 중에 cathode의 성분과 일치하는 La, Sr 성분은 단위전지 전체에 고르게 존재하고 있으며, 전해질에만 존재하는 성분인 Ga는 전해질에만 존재하는 것을 볼 수 있다. 또한 cathode에만 존재하는 Mn 성분도 cathode에만 존재하는 것을 볼 수 있다.

3.4. 단위전지의 출력

$(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 전해질 양면에 $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 양극과 0.9NiO-0.1YSZ 음극을 이용하여 제작한 0.7 mm 두께를 갖는 단위전지의 출력값을 Fig. 12에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 $1000^\circ C$ 에서 측정된 출력값의 경우

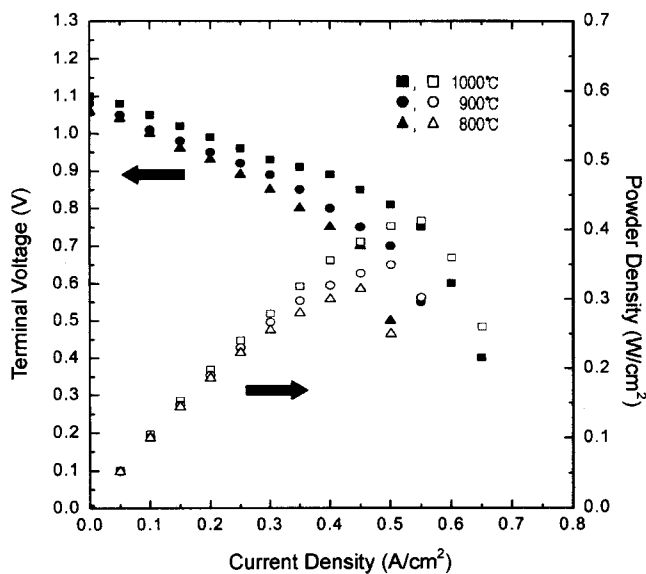


Fig. 12. Performace of a Single cell with 0.7 mm thick LSGM electrolyte and screen printed LSM cathode and Ni-YSZ anode.

$1000^\circ C$ 에서 약 $0.4 W/cm^2$ 의 값을 나타내고 있으며, 이러한 출력값은 온도를 $900^\circ C$ 에서 $800^\circ C$ 로 내리면 감소하는데, $800^\circ C$ 에서 측정된 경우 약 $0.3 W/cm^2$ 의 값을 나타내었다.

또한 단위전지 출력 측정시 current를 높여 $0.5\sim 0.6 A/cm^2$ 에 도달하면 그림에서처럼 급격한 출력 값의 감소를 나타내는데, 이는 출력의 감소는 제작한 단위전지의 형태에 있어서 전극의 문제로 보이며, 전극에서 발생한 분극으로 인해 출력의 급격한 감소를 가져오게 되므로 이 문제를 해결하여야 할 것으로 보인다.

4. 결 론

LSGM계 전해질과 LSM계 양극에 있어서 SOFC 특성은

1. $(La_{0.85}Sr_{0.15})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 과 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 전해질은 $1500^\circ C$ 에서 6시간 소결한 경우 $LaGaO_3$ 단일상을 형성하였고, 입자의 크기는 $10\sim 30\mu m$ 이었으며, $800^\circ C$ 에서 각각 $0.127 S/cm$, $0.135 S/cm$ 의 값을 나타내었다.
2. GNP법으로 합성한 LSM계 양극의 경우 Sr의 첨가량 증가에 따라 LSM계의 구조가 정방정에서 능면정으로 변화하였으며, $1000^\circ C$ 에서 2시간 하소한 경우 Sr의 첨가량이 0.2 mole까지 단일상이 형성되었다. 또한 단일상이 형성된 $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 의 건조 후 입자의 크기는 약 $30\sim 40 nm$ 였고, $1200^\circ C$ 에서 2시간 열처리시 입자의 크기는 $1\sim 2\mu m$ 로 매우 작고 균일하였다.
3. $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 양극 및 0.9NiO-0.1YSZ 음극을 페이스트화하여 $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 전해질 표면에 스크린 인쇄하여 단위전지를 제작한 경우 두 전극 모두 $1\mu m$ 정도의 입자의 크기를 나타내었으며, 많은 기공을 포함하고 있다.
4. $(La_{0.8}Sr_{0.2})(Ga_{0.8}Mg_{0.2})O_{3.8}$ 전해질과 $(La_{0.9}Sr_{0.1})MnO_3$ 양극 및 0.9NiO-0.1YSZ 음극을 이용하여 제작한 단위전지의 출력은 $1000^\circ C$ 에서 약 $0.4 W/cm^2$, $800^\circ C$ 에서 $0.3 W/cm^2$ 의 값을 나타내었다.

REFERENCES

1. N. Q. Minh, "Ceramic Fuel Cells," *J. Am. Ceram. Soc.*, **76** [3] 563-88 (1993).
2. N. Q. Minh, "High-temperature Fuel Cells. Part II: The Solid Oxide Cell," *Chemtech.*, **21** 120-26 (1991).
3. L. A. Chick, L. R. Pederson, G. D. Maupin, J. L. Bates, L. E. Thomas and G. J. Exarhos, "Glycine-nitrate Combustion Synthesis of Oxide Ceramic Powders," *Materials Letters*, **10** [1, 2] 6-12 (1990).
4. J. D. Kim, J. W. Moon, G. D. Kim and C. E. Kim, "Preparation of (La,Sr)MnO₃ Powder by Glycine-nitrate Process Using Oxide and Starting Materials(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **34** [10] 1003-08 (1997).

5. R. Maric, S. Ohara, T. Fukui, T. Inagaki and J-I. Fujita, "High-performance Ni-SDC Cermet Anode for Solid Oxide Fuel Cells at Medium Operating Temperature," *Electrochemical and Solid-state Letters*, **1** [5] 201-03 (1998).
6. T. Fukui, S. Ohara and K. Mukai, "Long-term Stability of Ni-YSZ Anode with a New Microstructure Prepared from Composite Powder," *Electrochemical and Solid-state Letters*, **1** [3] 120-22 (1998).
7. T. Ishihara, H. Matsuda and Y. Takita, "Doped LaGaO₃ Perovskite Oxide as a New Oxide Ionic Conductor," *J. Am. Chem. Soc.*, **116** [9] 3801-03 (1994).
8. T. Ishihara, M. Higuchi, H. Furutani, T. Fukushima, H. Nishiguchi and Y. Takita, "Potentiometric Oxygen Sensor Poerable in Low Temperature by Applying LaGaO₃-based Oxide for Electrolyte," *J. Electrochem. Soc.*, **444** [5] L122-L125 (1997).
9. T. Ishihara, H. Matsuda and Y. Takita, "Effects of Rare Earth Cations Doped for La Site on the Oxide Ionic Conductivity of LaGaO₃-based Perovskite Type Oxide," *Solid State Ionics*, **79** 147-51 (1995).
10. K. Nomura, Shigeo and H. Ishkawa, "Electrical Conduction Behavior in LaMnO₃ Perovskite-type Oxides," The 2nd International Fuel Cell Congerence 2nd JFCC, 489-92 (1996).
11. J. D. Kim, G. D. Kim and K. T. Lee, "Oxygen Reduction Mechanism and Electode Properties of (La,Sr)MnO₃-YSZ Composite Cathode for Solide Oxide Fuel Cell(I, II)(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [1] 84-99 (2001).
12. B. Gharbage, M. Henault, T. Pagnier and A. Hammou, "Preparation of La_{1-x}Sr_xMnO₃ Thin Films by a Pyrosol Derived Method," *Mat. Res. Bull.*, **26** 1001-07 (1991).
13. M. J. Lee, S. S. Park and B. H. Choi, "Variations in the Properties of LSGM system Electrolyte with Sr and Mg Addition and Sintering Conditions(in Kor.)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **39** [4] 351-57 (2002).
14. A. Hammouche, E. Siebert and A. Hammou, "Crystallographic, Thermal and Electrochemical Properties of the System La_{1-x}Sr_xMnO₃ for High Temperature Solid Electrolyte Fuel Cells," *Mat. Res. Bull.*, **24** 367-80 (1989).