

## LSC가 코팅된 고체산화물 연료전지용 금속연결재의 특성 연구

표성수 · 이승복 · 임택형 · 박석주 · 송락현<sup>†</sup> · 신동열

한국에너지기술연구원 연료전지연구단  
305-343 대전시 유성구 장동 71-2  
(2009년 11월 9일 접수, 2009년 11월 28일 채택)

### Characteristics of LSC coated Metallic Interconnect for Solid Oxide Fuel Cell

Seong-Soo Pyo, Seung-Bok Lee, Tak-Hyoung Lim, Seok-Joo Park, Rak-Hyun Song<sup>†</sup> and Dong-Ryul Shin

Fuel Cell Research Center, New and Renewable Energy Research Division, Korea Institute of Energy Research,  
71-2 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea  
(Received 9 November 2009; accepted 28 November 2009)

#### 요 약

본 논문에서는 SOFC 금속연결재로서 Crofer22APU를 적용하고자 표면에 전도성 산화막( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ )을 습식코팅 후, SOFC 작동환경에서 산화거동, 전기적 특성변화 및 미세구조 변화를 관찰하였다. 코팅 전 샌드블라스트 장치를 이용한 Crofer22APU 표면처리를 통하여 코팅막/금속의 접착특성을 개선시킬 수 있었으며, 320 mesh의 입자크기를 갖는 알루미나 분말을 이용하여 표면처리한 경우 접착특성이 극대화되었다.  $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$  코팅된 시편의 전기적 특성 평가는 4-wire 법을 이용하여 SOFC 작동환경에서 약 4,000 시간 장기성능 평가하였으며  $12 \text{ mW}\cdot\text{cm}^2$ 의 낮은 면저항 값을 얻을 수 있었다. 실험종료 후 미세구조 분석결과에서도 전도성 산화막( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ ) 코팅이 금속의 부식으로 인한 산화층의 생성속도를 늦추고 이로 인한 금속의 전기적 특성이 감소하는 것을 방지하는데 유효함을 확인하였다.

**Abstract** – This study reports the high-temperature oxidation kinetics, ASR(area specific resistance), and interfacial microstructure of metallic interconnects coated with conductive oxides in oxidation atmosphere at 800 °C. The conductive material LSC( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ , prepared by Solid State Reaction) was coated on the Crofer22APU. The contact behavior of coating layer/metal substrate was increased by sandblast. The electrical conductivity of the LSC coated Crofer22APU was measured by a DC two probe four wire method for 4000hr, in air at 800 °C. Microstructure and composition of the coated layer interface were investigated by SEM/EDS. These results show that a coated LSC layer prevents the formation and growth of oxide scale such as  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and enhances the long-term stability and electrical performance of metallic interconnects for SOFCs.

Key words: SOFC, Metallic Interconnect, Protective Coating, Lanthanum Strontium Cobalt Oxide

#### 1. 서 론

고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell: SOFC)는 다른 연료 전지에서 필요로 하는 고가의 귀금속 촉매를 필요로 하지 않으며 높은 발전효율을 갖는 전기화학 장치이다. 또한 다양한 용량의 시스템 구성이 가능하여 발전용에서 보조전원에 이르기까지 폭넓게 응용할 수 있고 산소 이온 전도성 재료를 전해질로 사용하기 때문에 다양한 탄화수소계 연료를 고가의 개질기 없이 사용할 수 있는 등, 많은 장점이 있다[1].

지난 몇 년 동안의 연구는 SOFC 작동온도를 700~800 °C 부근까지 낮추는 현저한 발전을 가져왔으며[2], 이에 따라 SOFC 구성요

소 중 하나인 연결재(분리판)를 세라믹 연결재에서 금속 연결재로 대체하는 것이 가능해졌다[3]. 연결재는 SOFC 스택에서 각 단위전지 사이에 위치하여 연료극과 공기극을 전기적으로 연결하고 연료 가스와 공기를 분리하는 중요한 요소이며[4,5], 세라믹 연결재를 금속 연결재로 대체할 경우 가공이 쉽고, 우수한 물리적, 전기적 특성 등 많은 장점을 갖는다[6,7].

최근 제시된 금속으로는 Fe-based 합금계열의 Cr(16~22%)을 포함하는 합금강(예: 독일 ThyssenKrupp(社)의 Crofer22APU, 일본 Hitach Metals(社)의 ZMG232 등)이 있으며 다른 금속보다 가공성이 우수하고 전극 재료와 유사한 열팽창계수를 갖는 등의 장점이 있어 이를 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 Fe-Cr계 금속을 연결재로 사용할 경우 고온의 산화분위기에서 금속으로부터(Table 1)  $\text{CrO}_2(\text{OH})$ 과 같은 휘발성 크롬이 발생되어 각 셀의 전해질 및 양극의 촉매활성을 저하시키는 문제와[8,9] 금속표면에

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: rhsong@kier.re.kr

<sup>‡</sup>이 논문은 KAIST 김상돈 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

Table 1. Chemical Compositions of Crofer22APU

	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Al	S	P	Ti	La
Min.	20.0	Bal.		0.30						0.03	0.04
Mxa.	24.0	Bal.	0.03	0.80	0.50	0.50	0.50	0.02	0.05	0.20	0.20

생성된 비전도성 산화물의 영향으로 높은 접촉저항을 발생시키는 문제점이 있다. 따라서 고내식성 및 고전도 표면특성을 갖는 금속 연결재 소재를 확보하는 것이 중요한 기술적 사항이다. 이를 개선하기 위한 방법으로 분리판에서 요구하는 기능에 맞도록 새로운 합금소재를 개발하거나 표면에 전도성의 금속이나 비금속 코팅 등으로 표면처리를 하는 방안이 있다[10,11]. 최근 Zhenguo Yang과 Xuan Chen 등[8-12] 많은 연구자들은 기존 상용금속 표면에 보호피막을 코팅하는 것을 시도하고 있으며, 전기도금법, 스퍼터링 증착법, 플라즈마 용사 코팅법 등, 여러 가지 코팅법을 시도하고 있으나 고가의 코팅비용과 코팅조건 선정에 어려움이 있어 이에 대한 개선이 필요하다.

이에 본 연구에서는 Fe-Cr 계의 상용금속을 적용할 경우 나타날 수 있는 문제점을 개선하고자 대표적인 Fe-Cr 계 금속인 Crofer22APU (ThyssenKrupp(社)) 표면에 페르보스카이트 구조의 전도성 산화물 ( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ )을 코팅하여 금속의 산화를 방지하고자 하였으며 저가의 대량 생산 공정이 가능한 습식 스프레이 법을 적용하였다. 또한 코팅된 금속 연결재를 SOFC 작동 온도(800 °C)의 산화분위기에 노출시켜 시간의 따른 금속 연결재의 전기적 특성 및 장기안정성 등을 평가하였다.

## 2. 실험방법

실험은 코팅장치 제작, 코팅용 슬러리 제조, 금속시편 표면처리, LSC 코팅, 코팅된 시편 열처리, 시편의 전기적 특성평가 및 미세조직 관찰의 순서로 진행하였다.

### 2-1. 스프레이 코팅장치

시편 표면에 전도성 산화물을 도포하기 위해 스프레이 코팅장치를 제작하였다. 분사노즐이 X, Y축으로 이동 가능하도록 장치하고 컴퓨터 RS-232 단자를 이용하여 제어가 가능하도록 제작하였다. Fig. 1

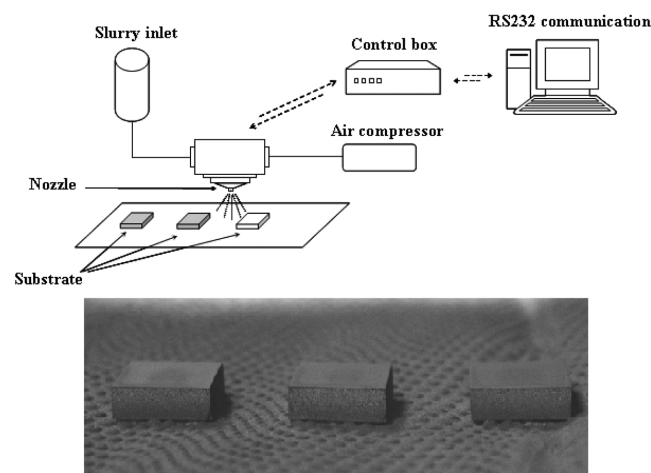


Fig. 1. Schematic of the spray coating equipment and photograph of the conductive slurry coated specimens.

Table 2. Compositions of Slurry for Wet Spray Coating (unit: wt.%)

	a	b	c	d	e	f
Powder	31.3	30.9	29.9	46.0	36.9	30.8
Binder	1.6	3.1	6.0	2.3	1.8	1.5
Dispersant	0.6	0.6	0.6	1.0	0.8	0.7
Fish-Oil	0.6	0.6	0.6	1.5	1.2	1.0
Toluene	24.5	24.1	23.4	21.0	25.3	28.2
Iso-propanol	41.4	40.7	39.5	28.3	34.0	37.9

은 실험에 이용된 스프레이 코팅장치의 구조와 코팅된 시편(15\*15\*6 mm)의 사진이다.

### 2-2. 슬러리 제조

슬러리 내부의 고형분 함량은 점도에 영향을 주는 요소이며 스프레이 코팅 시 점도에 따른 분사 특성이 다를 것으로 추측하였다. LSC( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ ) 분말, 유기바인더, 분산제, 가소제, 용매를 이용하여 슬러리를 제조하였으며, 스프레이 코팅에 적합한 슬러리를 선택하고자 Table 2에 나타내 바와 같이 함량이 서로 다른 6 가지 슬러리를 제조하였다. 슬러리 제조 시 바인더의 용이한 혼합을 위해 바인더와 용매를 미리 혼합한 바인더 용액을 사용하였다[13]. 제조된 슬러리를 150시간 불 밀 처리하고 금속표면에 코팅 후, 상온에서 24시간 건조, 800 °C에서 3시간 열처리하였다.

### 2-3. 표면처리

코팅전 금속표면의 비표면적을 증가시킬 경우 금속/코팅막 계면의 접촉특성을 살펴보기 위해 샌드블러스트 장비를 이용하여 표면에 거칠기를 주는 실험을 하였다. 표면처리에 사용된 분말은 100, 220, 320 mesh 입자크기를 갖는 3가지 비정형 알루미늄 분말이었으며 표면처리 후 원자력 현미경(Atomic Force Microscope: AFM)을 이용하여 표면을 관찰하였다.

### 2-4. 스프레이 코팅 및 열처리

표면 처리된 시편을 코팅 후 상온에서 24시간 건조하고 1,100 °C의 불활성 분위기에 노출시켜 금속 산화를 최소화하면서 코팅층을 소결시키고자 하였다[14]. 코팅시 노즐의 이동속도는 0.3 m/s, 토출분압은 1.8 kg-f/cm<sup>2</sup>, 금속시편과 노즐 사이의 거리는 15 cm이었다.

### 2-4. 전기적 특성평가 및 미세조직 관찰

앞의 실험에서 선행되었던 코팅용 슬러리 설계, 금속 표면처리 결과를 바탕으로 LSC 슬러리를 코팅 후 열처리하였다. 코팅된 시편의 전기적 특성 평가를 위해 전기로 내부에 Fig. 2와 같이 설치하고 일반적 SOFC 운전온도인 800 °C에서 시간에 따른 면저항(Area Specific Resistance: ASR) 변화를 측정하였다[7]. 측정 전 시편의 모서리 부분을 연마하여 스프레이 코팅 과정 중 시편 옆면에 묻을 수 있는 LSC 슬러리를 제거하여, 면저항 측정 과정에서 생길 수 있는 표면전도를 방지하였다. 실험이 종료된 시편은 측정된 ASR과 미세

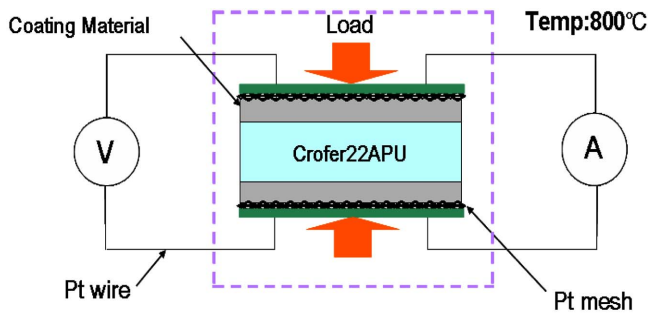


Fig. 2. Schematic diagram for the ASR measurement(Ref).

구조의 상관관계를 규명하고자 SEM을 이용하여 시편 단면의 미세 구조를 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 슬러리 제조

실험 2.2에서 열처리된 시편의 표면을 광학현미경(관찰배율 300 배)으로 관찰하였다. 슬러리 제조시 첨가된 바인더는 온도 상승시 코팅층 내부에서 배출되어 기공을 형성하기 때문에 치밀한 코팅층 형성을 저해하는 요소로 작용될 수 있다. 금속 표면에 얇고 치밀한 코팅층을 형성하기 위해서는 슬러리 내의 고형분 함량은 최대한 높아야 하며, 바인더의 함량은 낮아야 한다. 코팅에 적합한 슬러리를 선택하기 위해 구성요소의 함량이 다르게 제조된 6가지의 슬러리를 표면에 코팅한 결과, Table 2의 (e)의 조건으로 제조된 슬러리가 코팅 후 가장 안정한 표면형상을 갖는 것으로 나타났다. Table 2와 Fig.

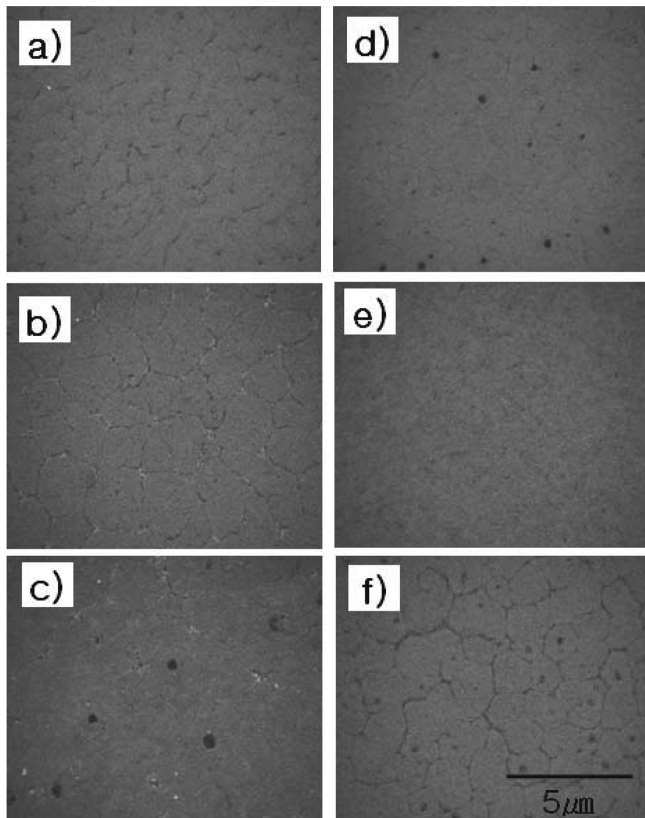


Fig. 3. Optical microscope images of surface morphology on LSC coated Crofer22APU.

3을 비교해 보면 바인더의 함량이 높은 (b), (c), (d) 조건의 슬러리를 코팅한 경우 코팅층 표면에서 배출된 바인더로 인한 기공 및 균열을 관찰할 수 있었으며 바인더의 함량이 가장 적은 (a), (f)의 경우에서도 표면 균열을 관찰할 수 있었다. 특히 바인더의 함량이 1.8 wt.%이었던 (e) 슬러리 경우 도포 형상이 가장 균일함을 관찰할 수 있었으며, 스프레이 코팅에 적합한 슬러리를 조성을 얻을 수 있었다.

#### 3-2. 표면처리

샌드블라스터 장비를 이용한 금속의 표면처리 과정은 슬러리 도포 전 표면에 존재하는 산화물 및 기타 오염물질을 제거하고 소재가 갖는 표면 거칠기를 일정한 값으로 유지할 수 있는 장점이 있다. 이는 코팅전 금속의 비표면적을 증가시켜, 보다 넓은 금속표면의 접촉면적을 확보할 수 있음을 의미하며[15-17], 코팅시 코팅층/금속표면의 접합 특성을 개선시킬 것으로 추측하였다.

Fig. 4는 (a)100, (b)220, (c)320 mesh의 3가지의 비정형 알루미나 분말을 이용하여 금속 표면을 처리 후 AFM을 이용하여 관찰하였다. 그 결과, 가장 작은 입자인 320 mesh 분말을 사용하여 표면 처리한 경우에 가장 넓은 표면적을 갖는 것을 확인하였다(scan size: 20 μm×20 μm). 코팅전 샌드블라스트를 이용하여 금속을 표면 처리할 경우 금속표면에 부착된 오염물질 및 산화막을 제거할 수 있는 장점이 있으며, 금속표면의 거칠기를 일정한 값으로 유지할 수 있

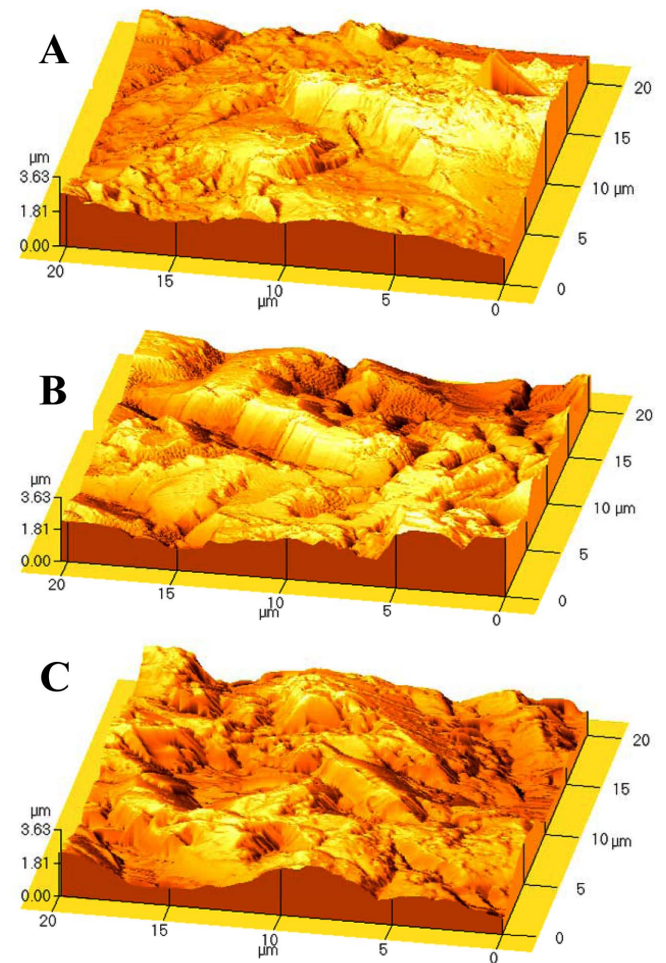


Fig. 4. AFM images of surface morphology on Crofer22APU after sandblasting.



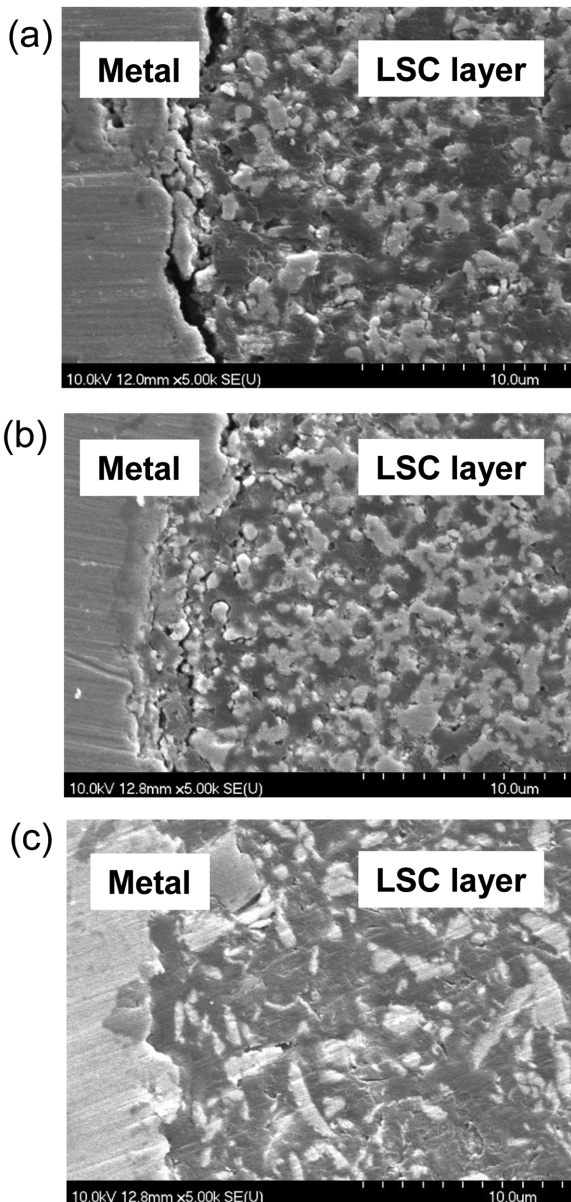


Fig. 5. SEM images of LSC coated Crofer22APU after sandblasting; the sand sizes are (a)#100, (b)#220, and (c)#320.

는 장점이 있다[7,8]. 측정된 시료의 표면적은 (a)100, (b)220, (c)320 mesh의 순으로  $534.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ,  $559.18 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ,  $572.65 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  이었으며 분사제의 입자가 작을수록 표면 거칠기가 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 4에 나타낸 (a), (b), (c)의 시편에 LSC 슬러리(Table 2의 (e))를 코팅하고, 800 °C에서 열처리한 결과이다. 결과를 통하여 코팅층과 금속표면 사이에 작용하는 접착력을 측정할 수는 없으나, 코팅 후 접착특성이 개선되는 것으로 볼 때, 금속과 슬러리의 부착력이 동일하다고 가정할 경우 금속의 표면적이 증가할수록 코팅층/금속표면 사이의 접합특성을 개선시킬 수 있다고 사료된다[9].

### 3-3. 면저항 측정 및 미세조직 분석

Fig. 6은 800 °C, 산화분위기에 노출된 시편들의 ASR 변화를 나타낸 결과이다. 먼저, 코팅되지 않은 Crofer22APU의 면저항 변화를

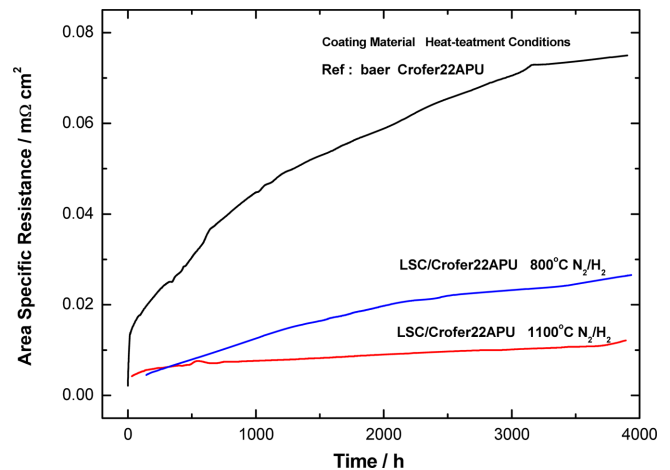


Fig. 6. ASR variation curves of uncoated and LSC coated Crofer22APU as a function of holding time at 800 °C in air

살펴보면 4,000 시간 운전 후 ASR 값이  $80 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 까지 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이 값은 통상적으로 SOFC 용 금속연결재로 사용할 수 있는 허용범위  $100 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 에 근접하는 값으로, 미국 에너지국(Department of Energy: DOE)에서 요구하는 금속연결재의 내구성[10]이 40,000 시간인 것을 고려할 때 코팅을 하지 않은 상태에서는 금속연결재로 Crofer22APU를 적용하기 어렵다는 것을 보여준다.

여러 가지 열처리 조건 중 1,100 °C에서 열처리된 시편이 가장 낮은  $12 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 ASR 값을 나타내었다. 각 ASR 값을 비교해 보면 초기 저항부분에서는 모든 시편의 ASR 값이 증가하지만, LSC가 코팅된 시편의 ASR 값이 시간이 지남에 따라 안정한 값을 나타내는 것으로 보아 LSC 코팅층이 외부에서 들어오는 산소의 확산을 방지하여 산화층의 생성을 늦추었을 것으로 판단된다[11]. LSC가 코팅된 시편들이 낮은 저항값을 보인 것에는 많은 변수가 영향을 주었을 것으로 추측되며 그 중 열처리로 인한 코팅층의 소결이 고온에서 열화되기 쉬운 금속표면을 보호한 것으로 생각된다[12].

Fig. 7은 코팅되지 않은 Crofer22APU 시편의 SEM 결과이다. 4,000 시간 동안 ASR 측정 후 표면에 약  $34 \mu\text{m}$ 의 Cr, Fe, Mn이 함유된 복합 산화물이 생성된 것을 확인하였으며, 생성된 산화층이 저항증

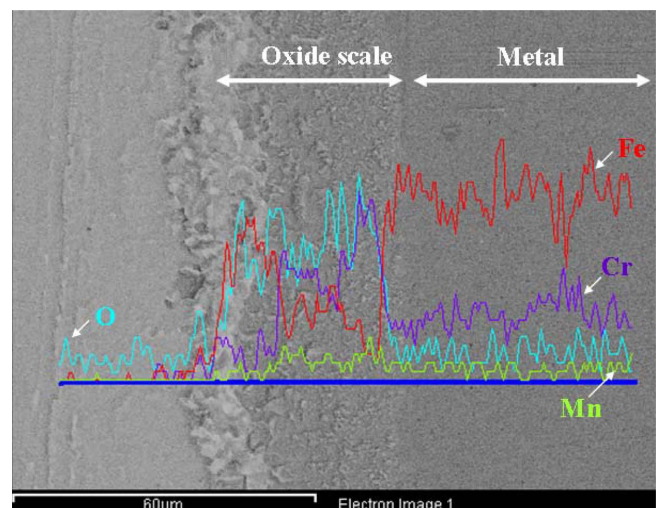


Fig. 7. SEM/EDX of un-coated Crofer22APU after oxidation for 4000 h.

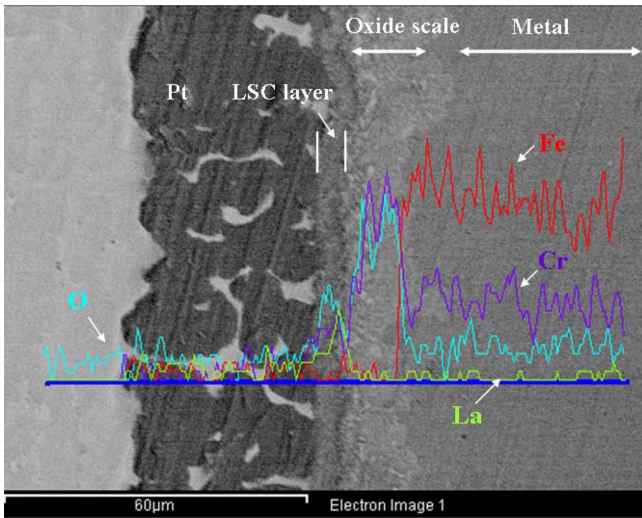


Fig. 8. SEM/EDX of LSC coated Crofer22APU after oxidation for 4000h.

가의 원인이 되었을 것으로 사료된다[13]. Fig. 8은 LSC 코팅 후 1,100 °C에서 열처리된 시편의 ASR 측정 종료 후 SEM 결과이다. 코팅층/금속 계면에 약 8 μm의 산화층이 생성되었으며, 코팅이 되지 않은 시편과 비교하여 불 때 생성된 산화층이 현저히 줄어 든 것을 확인할 수 있었다. 앞의 SEM 결과와 ASR 값들은 생성된 산화층의 두께에 따른 ASR 값 증가와 부합하는 결과라 사료되며, 코팅된 LSC의 코팅층이 고온에서 산소의 확산[7]으로 인한 Crofer22APU의 산화를 방지하고, 전기적 특성을 유지하는데 유효하다고 생각된다. 또한 EDS 라인 프로파일 결과 중 Cr 원소의 분포를 살펴보면 코팅 되지 않은 Crofer22APU 소재의 경우 넓은 영역에서 Cr이 검출되는 것을 알 수 있다. 이는 Crofer22APU 소재의 Cr 원소의 휘발 및 확산이 빠르게 진행되고 있는 것을 의미하며, 실제 SOFC 스택에 적용될 경우 양극을 오염시켜 촉매 활성을 떨어뜨릴 수 있는 것을 의미한다[15]. 반면 LSC 산화물이 코팅된 경우 Cr 원소는 금속/코팅층 계면에 형성되는 산화층 영역에서 검출되나 그 산화층의 두께가 코팅하지 않은 시편의 보다 작고, LSC 코팅층이 Cr 휘발 및 확산에 대한 적절한 보호층으로 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 습식 스프레이 법을 이용하여 SOFC 금속연결재인 Crofer22APU 표면에 LSC를 코팅하여 고온에서 금속의 부식 및 전기적 특성 감소를 최소화하고자 하였으며 다음과 같은 몇 가지 결론을 내릴 수 있다.

(1) 습식 스프레이 법을 적용하여 금속에 코팅할 경우 적합한 코팅용 슬러리의 설계(원료 입자, 바인더, 용매, 분산제, 가소제)가 필요하며 이는 균일한 막을 형성하는 요소로 작용한다.

(2) 코팅전 샌드블라스트 장비를 이용한 표면처리 실험을 통하여 코팅층/금속의 접합특성을 개선시키는 효과를 확인하였다. 320 mesh의 입자 크기를 갖는 분사제를 사용한 경우 코팅 후 일어날 수 있는 코팅층/금속의 균열 및 박리현상을 최소화할 수 있었으며, 이는 금속의 비표면적을 극대화시켜 코팅층/금속의 접합면적을 늘려주었

기 때문에 사료된다.

(3) LSC가 코팅된 Crofer22APU는 코팅 유·무 따라 고온에서의 전기적, 화학적 특성이 다르게 나타났으며, 장기산화실험을 통하여 LSC 코팅의 유효성을 확인할 수 있었다. 실험종료 직전의 LSC이 코팅된 Crofer22APU는 코팅하지 않은 시편보다 낮은 ASR 값을 나타냈으며 그 중 1,100 °C의 불활성 분위기에서 열처리된 시편의 ASR 값이 가장 낮은 12 mΩ·cm<sup>2</sup>를 나타냈다. 코팅하지 않은 Crofer22APU의 산화실험 후 SEM 결과를 통하여 LSC 코팅층이 Cr 증발에 대하여 효과적 장벽으로 작용하여 산화층 생성을 억제할 수 있었으며, 이는 확립된 조건에서 코팅된 LSC 보호층이 고온에서 Crofer22APU 표면 산화층 생성속도를 늦추고, 전기적 특성 감소를 방지한 것으로 사료된다.

#### 감 사

본 연구는 에너지관리공단의 신재생에너지기술개발사업으로 진행 중인 “5kW 급 열병합 SOFC 발전시스템 개발” 과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Lashtabeg, A. and Skinner, S. J., “Solid Oxide Fuel Cells-a Challenge for Materials Chemistry,” *J. Mater. Chem.*, **16**, 3161-3170(2006).
2. Yakabe, H., Hishinuma, M., Uratani, M., Matsuzaki, Y., Yasuda, I., “Evaluation and Modeling of Performance of Anode-supported Solid Oxide Fuel Cell,” *J. Power Sources*, **86**, 423-431(2000).
3. Zhu, W. Z., Deevi, S. C., “Development of Interconnect Materials for Solid Oxide Fuel Cells,” *Mat. Sci. and Eng.*, **A348**, 227-243(2003).
4. Schafer, W., Koch, A., Herold-Schmidt, U. and Stolten, D., “Materials, Interfaces and Production Techniques for Planar Solid Oxide Fuel Cells,” *Solid State Ionics*, 1235-1239(1996).
5. Koch, S. and Hendriksen, P. V., “Contact Resistance at Ceramic Interfaces and Its Dependence on Mechanical Load,” *Solid State Ionics*, **168**(1), 1-11(2004).
6. Zhu, W. Z. and Deevi, S. C., “Opportunity of Metallic Interconnect for Solid Oxide Fuel Cells: a Status on Contact Resistance,” *Mat. Res. Bull.*, **38**, 957-972(2003).
7. Kim, J.-H., Song, R.-H. and Hyun, S.-H., “Effect of Slurry-coated LaSrMnO<sub>3</sub> on the Electrical Property of Fe-Cr Alloy for Metallic Interconnect of SOFC,” *Solid State Ionics*, **174**(1-4), 185-191(2004).
8. Yang, Z., Xia, G. and Stevenson, J. W., “Mn<sub>1.5</sub>Co<sub>1.5</sub>O<sub>4</sub> Spinel Protection Layers on Ferritic Stainless Steels for SOFC Interconnect Applications,” *Electrochem. Solid-State Lett.*, **8**(3), 168-170(2005).
9. Yang, Z., Xia, G.-G., Maupin, G. D., Stevenson, J. W., “Conductive Protection Layers on Oxidation Resistant Alloys for SOFC Interconnect Applications,” *Surf. Coat. Technol.*, **201**, 4476-4483(2006).
10. Stoermer, A. O., Rupp, J. L. M. and Gauckler, L. J., “Spray Pyrolysis of Electrolyte Interlayers for Vacuum Plasma-sprayed SOFC,” *Solid State Ionics*, **177**, 2075-2079(2006).
11. Zhu, W. Z. and Deevi, S. C., “Opportunity of Metallic Interconnect for Solid Oxide Fuel Cells: a Status on Contact Resistance,” *Mat. Res. Bull.*, **38**, 957-972(2003).

12. Chen, X., Hou, P. Y., Jacobson, C. P., Visco, S. J. and De Jonghe, L. C., "Protective Coating on Stainless Steel Interconnect for SOFCs: Oxidation Kinetics and Electrical Properties," *Solid State Ionics*, **176**, 425-433(2005).
13. H. M, Kim, S. D., Hyun, S. H. and Kim, H. S., "Development of IT-SOFC Uint Cells with Anode-supported thin Electrolytes Via Tape Casting and Co-firing," *Inter. J. Hydro Energy*, **33**, 1758-1768(2008).
14. Yang, Z., Weil, K. S., Paxton, D. M. and Stevenson, J. W., "Selection and Evaluation of Heat-Resistant Alloys for SOFC Interconnect Applications," *J. Electrochem. Soc.*, **150**(9), 1188-1201(2003).
15. Ebnesajjad and Sina, "Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding," William Andrew Publishing(2006).
16. Pawlowski, L., "The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings," John Wiley & Sons Ltd.(1995).
17. Snogren, R. C., "Handbook on Surface Preparation," Palmerton publishing(1974).