

## 고체산화물 연료전지용 코발트 코팅된 460FC계 금속분리판의 고온산화특성

한동현, 오승주, 이종인, 배진우\*  
한국기술교육대학교 미래융합공학전공

### High Temperature Oxidation Characteristics of Cobalt Coated 460FC-based Metallic Interconnects for Solid Oxide Fuel Cell

Dong-Heon Han, Seung-Ju Oh, Jong In Lee, Jin Woo Bae\*  
Future Convergence Engineering Korea University of Technology and Education

**요약** 고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell, SOFC)용 금속분리판은 460FC계 Fe-Cr 합금이 사용되고 있지만, 고온산화 조건에서 Cr의 분산과 Cr 산화물의 성장으로 인해 발생하는 문제는 SOFC의 에너지 효율을 감소시킨다. Co 산화층은 고온산화 분위기에서 Cr의 분산과 Cr 산화물을 억제할 수 있기 때문에 금속분리판의 고온산화 특성을 개선시킬 수 있다. 본 연구에서는 Co 코팅층을 무전해 도금방식으로 460FC에 코팅하였고, 이를 고온에서 산화시켰다. Co 코팅 유무에 따른 460FC의 고온산화 특성을 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), focused ion beam-scanning electron microscopy (FIB-SEM)/energy dispersive spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), area specific resistance (ASR) 측정을 통해 비교 분석하였다. Co가 코팅된 460FC는 Co 코팅층이 고온산화되어 Cr 산화물보다 낮은 저항을 가지는  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 가 형성되었다. 이러한  $\text{Co}_3\text{O}_4$  층은 치밀하게 형성되어 Cr의 분산과 Cr 산화물의 성장을 효과적으로 억제했기 때문에 SOFC용 금속분리판의 고온산화 특성을 개선시켰다.

**Abstract** Metallic interconnects for solid oxide fuel cells (SOFCs) have been developed using 460FC-based Fe-Cr alloy. However, diffusion of Cr and growth of Cr-based oxide from 460FC-based Fe-Cr alloy during oxidation at high temperature seriously reduce the power efficiency of SOFCs. In general, Co-based oxide layer can improve the oxidation properties of metallic interconnects at high temperatures by inhibiting the Cr diffusion and retarding the growth of Cr-based oxide during oxidation at high temperatures. In this study, a Co protective layer was deposited on 460FC-based Fe-Cr alloy by electroless plating and then oxidized at high temperature. The oxidation characteristics of the Co-coated 460FC-based Fe-Cr alloy were analyzed and compared with non-coated alloy by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), focused ion beam-scanning electron microscopy (FIB-SEM)/energy dispersive spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), and area-specific resistance (ASR). The Co protective layer was found to be thermally oxidized to  $\text{Co}_3\text{O}_4$  during high temperature oxidation. In addition, we confirmed that the presence of a continuous  $\text{Co}_3\text{O}_4$  layer effectively inhibited the Cr diffusion and retarded the growth of Cr-based oxide during oxidation at high temperature.

**Keywords** : Solid Oxide Fuel Cell, Metallic Interconnect, Area Specific Resistance, Co-coated 460FC, Cr-Based Oxide

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 국가혁신클러스터사업(P0015272)과 한국연구재단의 BK21 FOUR 사업, 교육부의 대학혁신 지원사업(2021)의 사업비 그리고 한국기술교육대학교의 교수교육연구진흥과제(2020) 및 공용장비센터의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

\*Corresponding Author : Jin Woo Bae(Korea University of Technology and Education.)

email: jwbae@koreatech.ac.kr

Received October 12, 2021

Revised November 11, 2021

Accepted February 4, 2022

Published February 28, 2022

## 1. 서론

화석연료의 고갈과 환경오염의 문제를 해결하기 위해 재생가능하고 친환경적인 에너지를 생산할 수 있는 연료전지에 대한 관심이 증가하고 있다[1,2]. 특히, 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)는 600~1000℃에서 구동되기 때문에 다른 연료전지에 비해 백금촉매가 사용되지 않으며, 현존하는 연료전지 중에서 에너지 효율이 가장 높기 때문에 많은 주목을 받고 있다[3,4]. 이러한 SOFC의 여러 핵심부품들 중에서 분리판은 연료전지 반응에 필요한 수소기체와 산소기체를 물리적으로 분리, 전지 면적에 기체의 균일한 분배, 기체의 누출방지, 생성되는 전류의 포집, 동시에 생성되는 물의 배출과 같은 다양한 역할을 수행한다[5,6].

이러한 SOFC용 분리판에 사용되는 금속소재는 대부분이 스테인리스강인데, 이들은 열전도도, 기계적 강도, 가스차단성이 우수하기 때문이다[7-9]. 특히, 스테인리스강에 Cr이 포함된 Fe-Cr 합금인 460FC는 Crofer22 보다 가공성과 전기적·열적·기계적 물성이 우수하고 고온산화 분위기에서 표면에 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 (Mn, Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 스피넬을 형성하게 되면서 고온면저항이 낮게 잘 유지된다고 보고되었다[10,11]. 하지만 고온산화 분위기의 연료전지 반응에서 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 장기간 방치할 경우, 산소와 추가적인 반응을 통해서 CrO<sub>3</sub> 기체가 생성되며, 더욱이 연료전지 반응의 부산물인 수증기와 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 반응하게 되면 CrO<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> 기체가 생성되어 Cr 성분의 휘발을 촉진하게 된다. 금속분리판에서 휘발된 Cr 성분의 기체가 양극에 증착되면서 전기화학반응의 면적을 감소시키기 때문에 결과적으로 연료전지의 성능이 감소된다[12-14].

이러한 Cr성분의 휘발을 막기 위해서 여러 금속층을 도금하여 사용하고 있다. 일반적으로 전기 에너지를 이용한 전기도금은 금속의 이온을 함유한 용액에 전극을 넣고 전류를 통하게 하면 음극 표면에 위치한 금속에 금속이온이 방전해서 석출(析出)되도록 하여 금속의 얇은 막이 생성된다[15]. 반면에 무전해 도금법은 전기도금과는 달리 직류 전원을 사용하지 않고 용액에 포함되어 있는 환원제의 산화반응으로 유리되는 전자에 의하여 금속 이온을 환원하여 금속피막을 석출하는 방법이다. 이러한 무전해 도금은 환원제가 되는 약품을 이용하여 금속염 용액으로부터 화학적으로 금속이온을 석출시키기에 복잡한 형상의 성형물에도 균일하고 얇은 두께로 치밀하게 직접 도금이 가능한 것으로 알려져 있다[16]. 그래서 본 연구에서는 고온산화 분위기에서 금속분리판의 Cr의 분

산과 Cr 산화물의 성장을 억제함과 동시에 고온산화 분위기에서 면저항을 개선시키기 위해서 Fe-Cr 합금인 460FC에 Co를 무전해 도금시켰다. 이를 Co가 코팅되지 않은 460FC와 비교하여 Co 코팅에 대한 고온산화특성을 분석하였다. 샘플의 고온산화 거동을 확인하기 위해서 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) 측정을 통해 산화전후의 표면의 원소를 분석하였고, Scanning electron microscopy (SEM)과 Energy dispersive spectroscopy (EDS) 이미지를 촬영하여 코팅층의 모폴로지와 성분원소를 분석하였다. 또한, 산화물의 결정구조를 분석하기 위해서 X-ray diffraction (XRD)를 측정하였으며, 고온산화 분위기의 고온면저항을 분석하기 위해서 Area specific resistance (ASR)을 측정하였다.

## 2. 실험

### 2.1 샘플 제조

본 연구에서는 사용된 Fe-Cr 합금은 POSCO사의 460FC를 사용하였으며 합금에 대한 조성은 Table 1과 같으며, 샘플의 두께는 약 2.0 mm이며, 직경 20 mm의 원형 형태로 가공하였다.

Table 1. The Formulation of 460FC

C	Cr	Mn	Si	Nb	Others
0.007	22.3	<1.0	<0.5	0.09	Ti, Mo

460FC는 전처리 없이 사용하였고, Co-460FC는 460FC에 Co를 무전해 도금시켜 사용하였다. Co-460FC의 제조는 먼저 460FC의 표면에 형성되어 있는 불순물을 세척과 에칭으로 제거하고, 도금밀착성을 개선하기 위해서 Nickel-strike 처리를 하였다. 이후 Co 도금은 CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 15 g/L, 환원제로는 (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH·BH<sub>3</sub> 26 g/L, 착화제는 유기산 킬레이트 C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>·2H<sub>2</sub>O 115 g/L, pH 완충제는 NH<sub>4</sub>OH 30 g/L을 사용하였으며, 90℃ 조건에서 5분 동안 무전해 도금시켜 Co가 도금된 Co-460FC를 제조하였다.

### 2.2 샘플 분석

고온산화 전후의 샘플 표면성분의 원소분석을 위해서 XPS장비(Thermo Fisher Scientific, K-Alpha+)를 이용하여 측정했으며, 코팅층의 모폴로지 및 성분원소를

분석하기 위해서 FIB-SEM장비(FEI Company, Helios 600i)로 밀링을 진행한 후 10000배의 배율로 단면을 촬영하고, EDS 원소매핑을 통해서 성분원소를 측정하였다. 고온산화된 샘플에서 산화물의 결정구조를 분석하기 위해서 XRD장비(Panalytical B.V, EMPYREAN)는 45 kV, 20 mA 조건에서 scan 속도를 5°/min으로 하여 2 theta값을 20~80° 범위에서 측정하였다. 산화시간에 따른 샘플의 고온면저항을 분석하기 위해서 750 °C에서 상단과 하단을 각각 Air와 H<sub>2</sub> 분위기로 조성하였으며, 12시간동안 샘플의 상단 표면을 고온산화시켜 산화층을 먼저 유도하고 산화시간에 따른 고온면저항을 측정할 수 있는 Pt mesh를 산화층에 접촉시켜 500시간동안 멀티 소스미터(Keithley, 2400)의 4-Wire 방식으로 전압과 전류를 측정하고 ASR을 계산하였다. 고온산화된 샘플과 Pt mesh간의 접촉저항을 감소시키기 위해서 상단에 30 N의 하중을 주었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 산화층 표면성분 분석

본 연구에서는 고온산화과정에서 금속분리판의 Cr의 분산과 Cr 산화물의 성장을 억제하고, 고온면저항을 개선하기 위해서 Fe-Cr 합금인 460FC에 Co를 무전해 도금시켰다. 고온산화 전후 샘플의 표면성분을 확인하기 위하여 Co가 코팅되지 않은 460FC와 Co가 코팅된 460FC에 대해서 XPS wide scan 분석을 진행하였으며, 그 결과를 각각 Fig. 1에 나타냈다.

Fig. 1(a)에서 볼 수 있듯이, 460FC는 고온산화 전 Table 1의 조성에 따라서 460FC의 주성분인 Cr과 Fe peak가 주로 보였다. 하지만, 고온산화된 460FC에서는 Cr과 O peak가 상대적으로 증가하였으며, 산화전 존재 하였던 Fe peak가 관측되지 않았다. 이는 Cr이 고온산화되어 표면에 두꺼운 Cr 산화물이 형성되어 Fe가 관찰되지 않은 것으로 판단되었다.

반면에 Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이, Co-460FC는 고온산화 전후에 모두 Co와 O peak만 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 도금된 후에 주위환경에 의해서 Co의 산화가 어느 정도 진행되었으며, 고온산화가 진행되었어도 다른 원소가 검출되지 않은 것을 보아 Co 산화물만이 형성된 것으로 판단된다. 이것으로부터 Co-460FC는 고온산화 분위기에서 코팅 성분인 Co로 인해 어떤 원소도 표면으로 분산되지 않는 것으로 판단되었다.

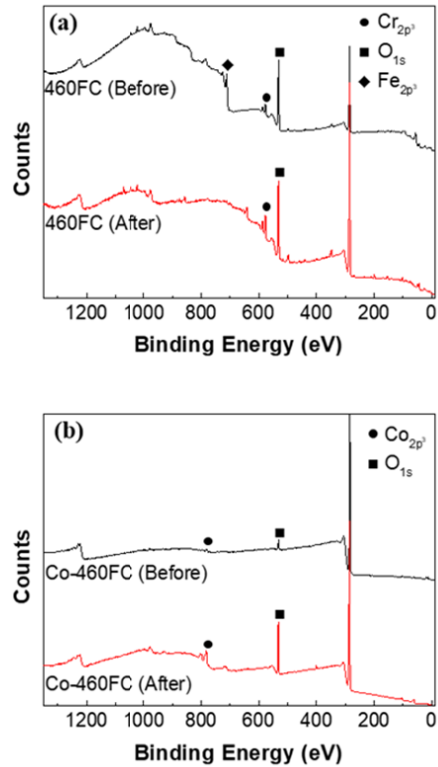


Fig. 1. Typical XPS wide scan spectrum of (a)460FC and (b)Co-460FC before and after oxidation at high temperature

#### 3.2 산화층 모폴로지 분석

고온산화 전후 Co가 코팅되지 않은 460FC와 Co가 코팅된 460FC의 단면 모폴로지와 성분원소를 SEM과

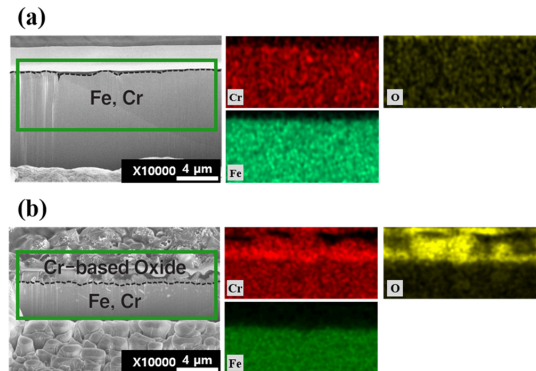


Fig. 2. Cross-section SEM images and EDS mapping observation of 460FC (a)before (b)after oxidation at high temperature

EDS 매핑분석을 통해 확인하였고, 이를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타냈다. Fig. 2(a)에서 볼 수 있듯이, 460FC의 단면은 고온산화 전에는 Cr과 Fe 성분이 고루 분포하고 있으며, O 성분도 미량으로 고르게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다. 하지만, Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이, 고온산화 후 Cr 성분은 내부에도 있지만, 표면층에 더 많이 분포되어 있는 것을 알 수 있었다. 또한 O 성분은 내부에선 검출되지 않고 표면층에 집중적으로 검출되었다. 이와 달리 Fe 성분은 표면층에는 없고 내부에 고르게 분포하고 있어서 고온산화 과정에서 Fe는 산화되지 않고 Cr 성분만이 표면으로 지속적으로 분산되어 Cr 산화물이 성장하게 된 것을 알 수 있었다.

반면에, Fig. 3에서 고온산화 전후의 Co-460FC의 단면 모폴로지에서도 확인할 수 있듯이 Co 성분의 코팅층이 5 μm 두께로 460FC의 표면 위를 균일하게 이루고 있는 것을 확인하였다. 또한, 고온산화 전보다 후에 O 성분이 더 치밀해진 것을 통해서 코팅층에 Co 산화물이 형성된 것을 알 수 있었다. 이와 달리, Cr 성분은 표면으로 분산되지 않고 내부에 그대로 존재하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해서 고온산화된 Co-460FC 표면의 Co 산화물로 인해 Co-460FC 표면으로의 Cr의 분산과 Cr 산화물로 성장이 억제될 수 있던 것으로 판단되었다. 이러한 SEM과 EDS결과는 고온산화된 Co-460FC에서 Cr이 보이지 않는 XPS결과와 일치하였다.

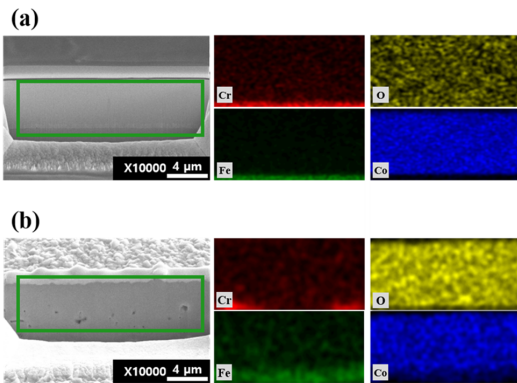


Fig. 3. Cross-section SEM images and EDS mapping observation of Co-460FC (a)before (b)after oxidation at 750°C

### 3.3 산화층 결정구조 분석

고온산화된 460FC와 Co-460FC의 산화물의 결정구조를 확인하기 위하여 XRD 분석을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 460FC는 고온산화하게 되면

Cr이 표면으로 분산되어 단일 금속산화물인 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 혼합상의 산화물인 (Mn, Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> peak가 동시에 나타난 것을 확인할 수 있었다. 반면에 Co-460FC는 혼합상의 산화물을 생성하지 않고 단일 금속산화물인 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> peak만을 나타냈다. 이것은 Co-460FC의 코팅층인 Co가 고온산화되어 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 형성되었으며, 이것이 Cr의 분산을 억제했기 때문에 다른 혼합상의 산화물이 형성되지 않은 것으로 판단됐다[10, 17]. 이러한 결과는 XPS, SEM 및 EDS의 결과와도 일치하는 것을 알 수 있다.

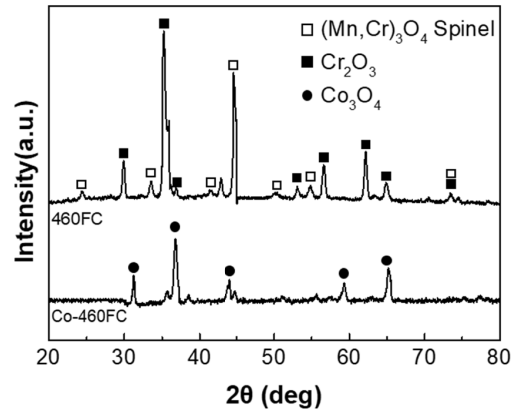


Fig. 4. XRD pattern of 460FC and Co-460FC after high temperature oxidation

### 3.4 산화층 고온면저항 분석

Fig. 5은 Co가 코팅되어 있지 않은 460FC와 Co가 코팅된 Co-460FC의 고온산화 분위기에서 500시간동안 ASR값의 변화를 나타낸 그래프이다. 초기에는 산화된 샘플과 Pt mesh 접촉 시 생기는 미세한 공간으로 인해 완전한 밀착이 되지 않기 때문에 초기 접촉저항이 발생하여 높은 ASR값을 보였다. 하지만, 하중의 영향으로 인해 시간이 지남에 따라 샘플과 Pt mesh이 더욱 밀착되어 접촉저항이 감소하기 때문에 ASR값이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. Co-460FC는 시간에 따라 ASR값은 감소하다가 50시간 이후부터 ASR값은 감소하지 않고 20.11 mΩ·cm<sup>2</sup>로 일정하게 유지되었다. 이와 달리, 460FC의 ASR값은 시간에 따라 일정하게 감소되다가 100시간 부근에서 최저인 219.07 mΩ·cm<sup>2</sup>을 보이고 다시 증가하였다. 이러한 결과는 XPS, SEM, EDS 및 XRD의 결과에서 알 수 있듯이 고온산화된 460FC에서는 시간이 지남에 따라서 Cr 성분이 샘플의 표면으로 분산되어 고온면저항을 증가시키는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 산화층이 점진

적으로 성장되었기 때문에 전기저항이 계속해서 증가되는 것으로 판단되었다[18]. 하지만, 고온산화된 Co-460FC에서는  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 가 형성되어 460FC 내부에서 Cr 성분의 분산이 되지 않으며, 이로 인해  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 의 성장이 억제되었기 때문에 시간이 지남에 따라서 고온면저항이 낮은 상태로 일정하게 유지될 수 있었다고 판단되었다[19].

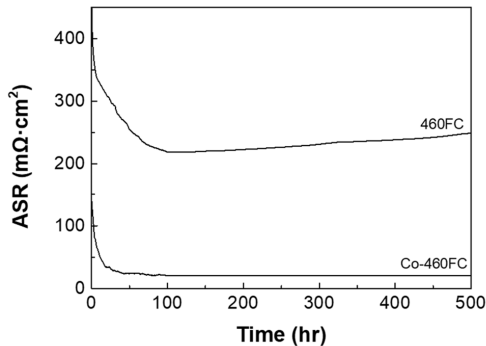


Fig. 5. Changes in ASR values during 500h of 460FC and Co-460FC

#### 4. 결론

본 연구에서는 Fe-Cr 합금인 460FC의 Cr 성분의 분산과  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 의 성장을 억제하기 위해 460FC에 Co를 무전해 도금하였다. Co가 코팅된 460FC는 Co 코팅이 되지 않은 460FC에 비해 500시간의 고온산화 분위기에서 더 낮은 ASR값을 보였으며 일정시간 이후에도 ASR값이 일정한 것을 확인할 수 있었다. Co 코팅 유무에 따른 460FC의 고온산화특성을 XPS, SEM, EDS 및 XRD로 비교분석하였다. 이를 통해 고온산화 분위기에서 460FC는  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 와 혼합상의 산화물인  $(\text{Mn}, \text{Cr})_3\text{O}_4$ 가 성장되었지만, Co-460FC는  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 만이 성장된 것을 알 수 있었다. 이렇게 Co-460FC에서 Co 코팅층이 고온산화되어 성장된  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 층은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 와 혼합상의 산화물인  $(\text{Mn}, \text{Cr})_3\text{O}_4$ 과 달리 낮은 고온면저항을 가진다. 더욱이  $\text{Co}_3\text{O}_4$ 층은 Cr 성분의 분산과 Cr 산화물의 성장을 효과적으로 억제시킬 수 있어서 Co-460FC의 고온면저항이 복합적으로 개선된 것으로 판단하였다. 이러한 결과들을 통해서 무전해 도금법으로 Co가 코팅된 Co-460FC는 고온산화조건에서도 상대적으로 매우 낮은 ASR 값을 갖기 때문에 향후 SOFC용 금속분리판 소재로써 안정적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] D. Ding, X. Li, S. Y. Lai, K. Gerdes, M. Liu, "Enhancing SOFC cathode performance by surface modification through infiltration", *Energy & Environmental Science*, Vol 7, No.2, pp.552-575. Dec. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C3EE42926A>
- [2] T. H. Lee, J. H. Choi, T. S. Park, Y. S. Yoo, J. W. Park, "Development of stacks and power generation systems based on anode-supported SOFCs for intermediate temperature operation.", *Proceedings of the KSME Conference*, The Korean Society of Mechanical Engineers, KR, pp. 1986-1991, May 2007.
- [3] J. W. Chen, K. Y. , Lin, Y. C. Yang, S. T. Yeh, "Plasma-Sprayed LSM protective coating on metallic interconnect of SOFC", *Coatings*, Vol.7, No.12, pp.226, Dec. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings7120226>
- [4] H. Zhang, Z. Zhan, X. Liu, "Electrophoretic deposition of (Mn, Co)  $3\text{O}_4$  spinel coating for solid oxide fuel cell interconnects", *Journal of Power Sources*, Vol.196, No.19, pp.8041-8047, Oct. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.05.053>
- [5] W. Zhang, D. Yan, J. Yang, J. Chen, B. Chi, J. Pu, J. Li, "A novel low Cr-containing Fe-Cr-Co alloy for metallic interconnects in planar intermediate temperature solid oxide fuel cells", *Journal of Power Sources*, Vol.271, No.20, pp.25-31, Dec. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.07.170>
- [6] C. Macauley, P. Gannon, M. Deibert, P. White, "The influence of pre-treatment on the oxidation behavior of Co coated SOFC interconnects", *International Journal of hydrogen energy*, Vol.36, No.7, pp.4540-4548, Apr. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.113>
- [7] A. Safikhani, M. Aminfarid, "Effect of W and Ti addition on oxidation behavior and area-specific resistance of Fe-22Cr-0.5 Mn ferritic stainless steel for SOFCs interconnect", *International Journal of hydrogen energy*, Vol.39, No.5, pp.2286-2296, Feb. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.11.100>
- [8] J. Wu, X. Liu, "Recent development of SOFC metallic interconnect", *Journal of materials science & technology*, Vol.26, No.4, pp.293-305, Apr. 2010.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(10\)60049-7](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(10)60049-7)
- [9] J. E. Hong, T. H. Lim, S. B. Lee, Y. S. Yoo, R. H. Song, D. Y. Shin, D. Y. Lee, "Oxidation Properties of Cobalt Protective Coatings on STS 444 of Metallic Interconnects for Solid Oxide Fuel Cells", *Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol.20, No.6, pp.455-463, Dec. 2009.
- [10] K. H. Jo, J. H. Kim, K. M. Kim, I. S. Lee, S. J. Kim, "Development of a new cost effective Fe-Cr ferritic

stainless steel for SOFC interconnect", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.40, No.30, pp.9523-9529, Aug. 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.125>

- [11] R. Sachitanand, M. Sattari, J. E. Svensson, J. Froitzheim, "Evaluation of the oxidation and Cr evaporation properties of selected FeCr alloys used as SOFC interconnects", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.38, No.35, pp.15328-15334, Nov. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.09.044>
- [12] S. S. Kumar, A. Nalluri, C. Anandan, B. S. Prakash, S. T. Aruna, "Deposition and evaluation of Mn-Co oxide protective sputtered coating on SOFC interconnects and current collectors", *Journal of The Electrochemical Society*, Vol.163, No.8, pp.F905-F912, Jun. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1149/2.1221608jes>
- [13] H. Abdoli, P. Alizadeh, "Electrophoretic deposition of (Mn, Co) 3O4 spinel nano powder on SOFC metallic interconnects", *Materials Letters*, Vol.80, No.1, pp.53-55, Aug. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.04.072>
- [14] K. J. Yoon, H. I. Ji, H. C. Kim, J. W. Son, J. H. Lee, B. K. Kim, H. W. Lee and Prospectives of Industrial Chemistry, p13, *Korean Industrial Chemistry News*, 2018, pp.10-22
- [15] J. S. Park, G. J. Jeong, Y. J. Kim, K. J. Kim, C. K. Lee, "A Study on Corrosion Resistance and Electrical Surface Conductivity of an Electrodeposited Ni-W Thin Film", *Korean Institute of Surface Engineering*, Vol.44, No.2, pp.68-73, Apr. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5695/JKISE.2011.44.2.068>
- [16] S. Y. Chun, I. S. Kang, Y. M. Rhym, D. H. Kim, J. H. Lee, "Comparison of Acidic and Alkaline Bath in Electroless Nickel Plating on Porous Carbon Substrate", *Korean Institute of Surface Engineering*, Vol.43, No.2, pp.105-110, Apr. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5695/JKISE.2010.43.2.105>
- [17] J. W. Ju, *Effect of Co coating on the behavior of high temperature oxidation and electric conductivity of the ferritic STS for SOFC interconnect*, Master's thesis, Hanyang university, Seoul, Korea, pp.43, 2009.
- [18] B. K. Park, R. H. Song, S. B. Lee, T. H. Lim, S. J. Park, C. O. Park, J. W. Lee, "Ceramic Materials for Interconnects in Solid Oxide Fuel Cells - A Review", *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol.51, No.4, pp.231-242, Jun. 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4191/kcers.2014.51.4.231>
- [19] J. E. Hong, T. H. Lim, R. H. Song, S. B. Lee, D. Y. Shin, Y. S. Yoo, D. Y. Lee, "Effects of Cobalt Protective Coating Prepared by DC Electroplating on Ferritic Stainless Steel for SOFC Interconnect", *Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol.20, No.2, pp.116-124, Apr. 2009.

한 동 헌(Dong-Heon Han)

[준회원]



- 2020년 8월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (공학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과 미래융합공학전공 석박사통합과정

<관심분야>

수소연료전지 고분자 전해질막

오 승 주(Seong-Ju Oh)

[준회원]



- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과 미래융합공학전공 석사과정

<관심분야>

차세대 스트레처블 디스플레이소재, 카메라 렌즈소재, 고신축/고유연 에너지하베스팅소재

이 종 인(Jong In Lee)

[준회원]



- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지신소재화학공학과 미래융합공학전공 석사과정

<관심분야>

고분자 가공 및 합성, 친환경 소재

배진우(Jin Woo Bae)

[정회원]



- 1998년 3월 ~ 2004년 8월 : 한국  
기술교육대학교 응용화학공학과  
(공학사)
- 2004년 9월 ~ 2012년 2월 : 서울  
대학교 화학생명공학부(공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2013년 9월 : 삼성  
디스플레이 책임연구원

- 2013년 10월 ~ 2016년 2월 : 경희대학교 연구교수
- 2016년 3월 ~ 2019년 8월 : University of California,  
Berkeley 박사후연구원
- 2019년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지신소재  
화학공학부 조교수

〈관심분야〉

고분자 센서, 액츄에이터, 연료전지 및 에너지하베스팅