

침전법을 활용한 Co-Ni 전극의 제조와 용융탄산염 연료전지의 그 적용

김시열, Hary Devianto, 류보현, 함형철, 한중희*, 윤성필, 남석우, 임태훈, 이호인

Preparation of Co-Ni Electrode by Precipitation Method and it's Application for Molten Carbonate Fuel Cell or Optimization of Co-Ni Electrode's Fabrication and it's Application for Molten Carbonate Fuel Cell

S.-Y Kim, H. Devianto, B.H. Ryu, H.-C Hahm, J. Han*, S.P. Yoon, S.W. Nam, T.-H Lim and H.-I Lee

Abstract

In-situ lithiated NiO has been manufactured as a conventional cathode material of molten carbonate fuel cell (MCFC), however this material has a weakness for commercialization of MCFC because NiO is spontaneously dissolved into the electrolyte under MCFC operating conditions, resulting in short circuit between cathode and anode. In this research, therefore, Co(OH)₂-coated Ni powder was prepared by precipitation method with controlling pH at low temperature and atmospheric pressure. Modified cathode was fabricated by a conventional tape casting method and sintered at 700°C in a H₂/N₂ atmosphere. Based on characterization result, Pore size distribution and porosity was suitable for the cathode of MCFC. According to the result of dissolution, Ni solubility of modified cathode was 33% lower than that of conventional cathode. In addition, modified electrode showed a good performance from the single cell operation.

Key words

MCFC(용융탄산염 연료전지), stabilized cathode(안정화 공기극), Co coating(코발트 코팅), Ni dissolution(Ni 용해)

* 한국과학기술연구원 연료전지연구단

☒ E-mail : jhan@kist.re.kr ☒ Tel : (02)958-5277 ☒ Fax : (02)958-5199

1. Introduction

용융탄산염 연료전지는 0.7mm 두께의 75~80%의 다공성 Nickel plate를 전처리 중에 in-situ로 oxidation/lithiation 과정을 통하여 lithiated NiO으로 전환된 공기극을 주로 사용한다.⁽¹⁾ 하지만 lithiated NiO 공기극은 전지의 운전 중에

전해질에 용해되어 연료극으로부터 확산해 온 수소와 반응하여 matrix에 순수 nickel로 석출되어 연료극과 공기극간의 Nickel bridge를 유발한다. 이러한 현상은 전지의 성능을 급격하게 저감시키는 원인이 되고 있으며⁽²⁾, 4만 시간의 장기성능을 목표로 하는 연구에서는 반드시 해결되어야 할 문제이다. 많은 연구그룹들은 이러한 lithiated NiO의 용해거동을

저감시키기 위하여 낮은 용해도를 가진 대체 전극재료의 개발에 박차를 가하고 있으며, 상기의 문제점들을 고려하여 기존의 공기극이 가지는 기계적 성질과 소결의 용이성을 가지면서 전기화학적 촉매기능을 가지는 Cobalt를 사용한 modified electrode 제조법을 수년간 연구하여왔다. 그 예로써, Sol-gel 법, Pulse electroplating법, Hydrothermal synthesis법을 이용한 LiCoO₂가 코팅된 NiO 전극이 개발되어왔다.⁽³⁻⁷⁾ 이 코팅전극들은 용해도 저감의 효과는 볼 수 있지만 Sol-gel 법, Pulse electroplating법은 대면적 전극생산이 불가능하며 Hydrothermal synthesis법은 대면적 전극생산이 가능하나 경제적이지 못한 문제점을 안고 있다.⁽⁸⁾

2. Experimental

2.1 Preparation of Co(OH)₂/Ni precursors

본 연구에서는 수계, 상압의 조건에서 침전법을 활용하여 전극제조 공정의 경제성과 대면적 대량생산에 목적을 두고 새로운 전극제조 최적화 공정을 개발하고자 실험을 진행하였다. 침전법을 이용하여 제조된 Co(OH)₂을 Ni 분말에 코팅한 것을 전구체로 사용하였다. 코팅물을 하이드록사이드물로 택한 이유는 쉽게 pH를 조절하여 높은 수율로 생성물을 얻을 수 있기 때문이다.⁽⁹⁻¹¹⁾ 반응조에 pH meter를 설치하여 합성중의 pH를 조절할 수 있게 하였으며 Heater와 impeller를 설치하여 합성중 균일한 조성을 얻을 수 있도록 장치 준비 하였다. 이때 정량펌프를 이용하여 CoSO₄ 수용액과 LiOH 수용액을 합성 할 수 있도록 준비하였다. 여기서 본 반응기에서 Co(OH)₂가 Ni 분말에 코팅이 될 때 CoSO₄는 Cobalt의 공급원이며 LiOH는 OH⁻ 이온의 공급원이자 pH를 높여주는 역할을 하게 된다. 합성 후 세척과정으로 여액의 SO₄²⁻ 이온과 OH⁻ 이온을 제거하며, 건조과정으로 Co(OH)₂ 코팅 Ni 분말을 얻게 된다. 합성 시 CoSO₄의 량의 조절, 온도의 조절 또는 pH를 조절하여 합성 조건에 따라 생성되는 결과물의 분석과 가장 경제적으로 합성되는 최적화 공정을 찾아보았다. 전구체 분말의 합성실험에서는 전구체 분말 합성 반응의 매커니즘 규명과 합성 후 생성물 분석을 위해 AAS-AES(Atomic Absorption Spectroscopy), SEM(Scanning Electron Microscopy),

XRD(X-ray Diffraction)등이 이용되었다.

2.2 Preparation of Co-Ni alloy electrodes

합성된 톨루엔과 에탄올을 용매로 사용하여 Co(OH)₂ 코팅 Ni 분말을 binder(B72)와 plasticizer(DBP), dispersent (ByK110), diformer(D348)을 Co(OH)₂ 코팅 Ni powder와 함께 섞어 볼 밀러로 균일하게 교반하여 주었으며 적당한 기공 분포와 기공률은 볼밀러의 속도와 볼밀 시간으로 제어하였다. 제조된 슬러리는 doctor-blade를 이용하여 tape-casting method로 green sheet를 제조한 후, 제조된 green sheet를 환원 분위기에서 700℃로 30분간 소성하였다. 대체 공기극의 제조 실험에서는 테이프 캐스팅과 환원소성 후 공기극의 고용체 균일성 평가를 위해 SEM-EDS(Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersed Spectroscopy)분석 그리고 MCFC 공기극의 물성 확인을 위해 Mercury(Hg Porosimetry) 평가가 수행되었다.

2.3 Dissolution test

용해도 실험은 실제 MCFC의 공기극 운전조건과 유사한 분위기하에서 Li/K계 전해질(62/38m/o)계 전해질(140g)에 NiO와 위와 같은 (Co-Ni)-O의 공기극을 사용하였다. 전해질과 전극을 담지한 도가니와 gas 공급관, 그리고 샘플을 채취하기 위한 피펫은 샘플오염을 방지하기 위하여 고순도 알루미늄 제품을 사용하였다. 그리고 약 1.5g의 NiO와 전해질 안정화 과정 후의 전극을 사용하였다. MCFC 공기극 운전조건과 유사한 분위기를 위해 운전온도 650℃를 유지하였고, 각 도가니에는 알루미늄 관을 통해 O₂/CO₂(1/2 vol/o)혼합가스를 공급하였다.⁽¹²⁾ 용해도(Solubility)를 얻기 위하여 일정 시간에 따라 알루미늄 피펫을 이용하여 전해질을 채취하였고 0.2g의 전해질을 5 vol/o의 묽은 아세트산에 녹인 후 거름종이로 산화물(NiO, CoO)을 제거하였다. 이 후 AAS 분석을 통해 Li, K 양을, 그리고 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy)분석을 통해 Co, Ni 양을 mg/L의 단위로 분석하였으며, 이를 Li/K의 몰수로 환산한 값에 대하여 Ni와 Co의 농도를 계산하였다. 이 후 일정한 농도로 유지되는 농도값을 용해도로 정의하였다.

2.4 Single cell operation

새로운 공기극의 특성을 평가하기 위해 10×10cm 전극 크기로 단위전지를 운전하였다. 재료의 부식을 막기위해 전지 몸체의 wet-seal 부에는 aluminizing 공정을 통해 알루미늄을 코팅한 단위전지를 사용하였으며, 단위전지의 성능은 electric loader를 이용하여 OCV(open circuit voltage) 및 50mA/cm², 100mA/cm², 150mA/cm²의 전류밀도 하에서 전압을 기록하였고, Electrochemical Impedance Spectroscopy(SOLATRON SI1287 and 1255B)를 이용하여 OCV 상태에서의 IR(Internal Resistance)를 측정하였다. 이와 함께 matrix crack으로 인한 cross-over 현상의 척도가 되는 연료극 출구 N₂ 가스분석을 Gas chromatography (HP 5890 series-II)를 이용하여 측정 하였다.

3. Results and discussions

3.1 Morphology and composition of Co(OH)₂/Ni powders

수계 상압의 반응조의 온도와 pH를 조절하여 침전법으로 합성된 새로운 Ni 분말이 제조 되었다. 400g의 Ni 분말에 CoSO₄·7H₂O의 용액은 이 Cobalt의 Ni에 대한 질량비로 5.5wt%, 8.4wt%, 15.0wt%로 첨가되었고, LiOH·H₂O 용액은 포화상태의 용액을 사용하였으며 이는 반응시의 pH의 조절과 OH⁻ 이온의 공급의 역할을 하게 된다. 여기서 생성되는 Co(OH)₂는 blue-green의 색을 띤 수용성 alpha 형과 rose-red의 색을 보이는 불용성 beta 형이 있다.⁽¹³⁾ 수계 상압의 반응조 안의 용액의 온도와 pH를 조절하여 제조하는 Co(OH)₂ 코팅 Ni 분말의 제조는 이성분의 반응이다. 단일성분 핵반응과 비교하여 이성분 핵반응은 표면 에너지에서 시작하므로 반응의 free energy가 표면에서부터 감소하게 된다. Pourbaix diagram에서 β-Co(OH)₂ 형성에 필요한 HCO₃⁻ 이온은 높은 pH의 수용액에서 가장 안정하다. CoSO₄를 녹인 수용액에 LiOH·H₂O를 넣고 봉상교반기에서 저어주면 용액은 pH 12이상에서 용액의 색깔은 blue-green에서 rose-red으로 변한다. 여기서 화학반응에 의해 cobalt가 불용성의 β-Co(OH)₂상으로 변한 것을 확인할 수 있다.

제조된 Ni powder의 XRD 결과는 그림 1에 나타내었으며, SEM 사진은 그림 2에 나타냈다. SEM 결과와 XRD 결과에서 알 수 있듯이 제조된 분말을 Co(OH)₂ 코팅 Ni 분말로 명하였다.

Ni powder에 Co(OH)₂ 형성의 침전 합성 반응은 다음과 같다. cobalt 이온이 친수성인 푸른색 α-Co(OH)₂상에서 (3.1) 소수성으로 변화하고 (3.2) 형태는 HCO₃⁻ 이온을 형성하고 이는 다시 pH 12 이상의 조건에서 소수성인 푸른색 β-Co(OH)₂로 변화한다. (3.3)

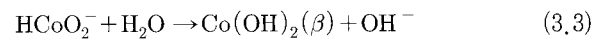
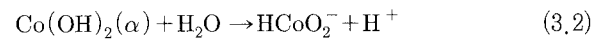
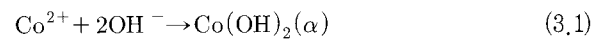


그림 1의 XRD결과에서 Ni 분말에 비하여 Co(OH)₂ 피크의 강도가 낮지만 Co(OH)₂의 피크가 확인되었다. 그림 2에서는 200~300nm의 작은 크기로 Co(OH)₂ 입자가 기존의 Nickel 입자 위에 고르게 뒤덮여 있는 것을 확인하였다. 여기서 작은 입자 크기로 고르게 분산이 되어있었기 때문에 XRD peak의 강도가 낮았음을 알 수 있었다. 또 SEM-EDS 분석결과로 그림 3에서 Cobalt 가 고르게 분산되어 있음을 확인할 수 있었다.

제조된 분말의 AAS 분석 결과 Co의 수율이 95% 이상으로 높게 제조되었고 pH를 낮추거나 높은 온도에서 합성을 할 경우 수율이 낮아지는 결과를 표 1에서 AAS 분석으로 확인할 수 있었다. 표 2에서는 pH 12이상의 조건과 상온에서 높은 수율의 침전 합성을 다양한 cobalt의 농도로 제조 하였고 수율을 AAS 분석으로 확인 하였다.

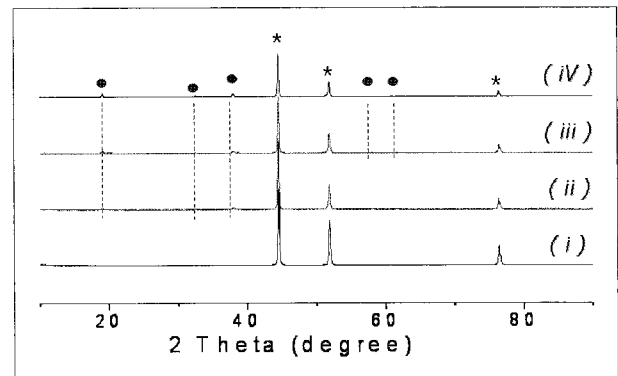


Fig. 1 XRD profiles of Co(OH)₂ coated Ni powder synthesized as a function of cobalt ratio ; 0.0wt% (i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii) and 15.4wt% (iv) ; (●) β-Co(OH)₂, (*) Ni.

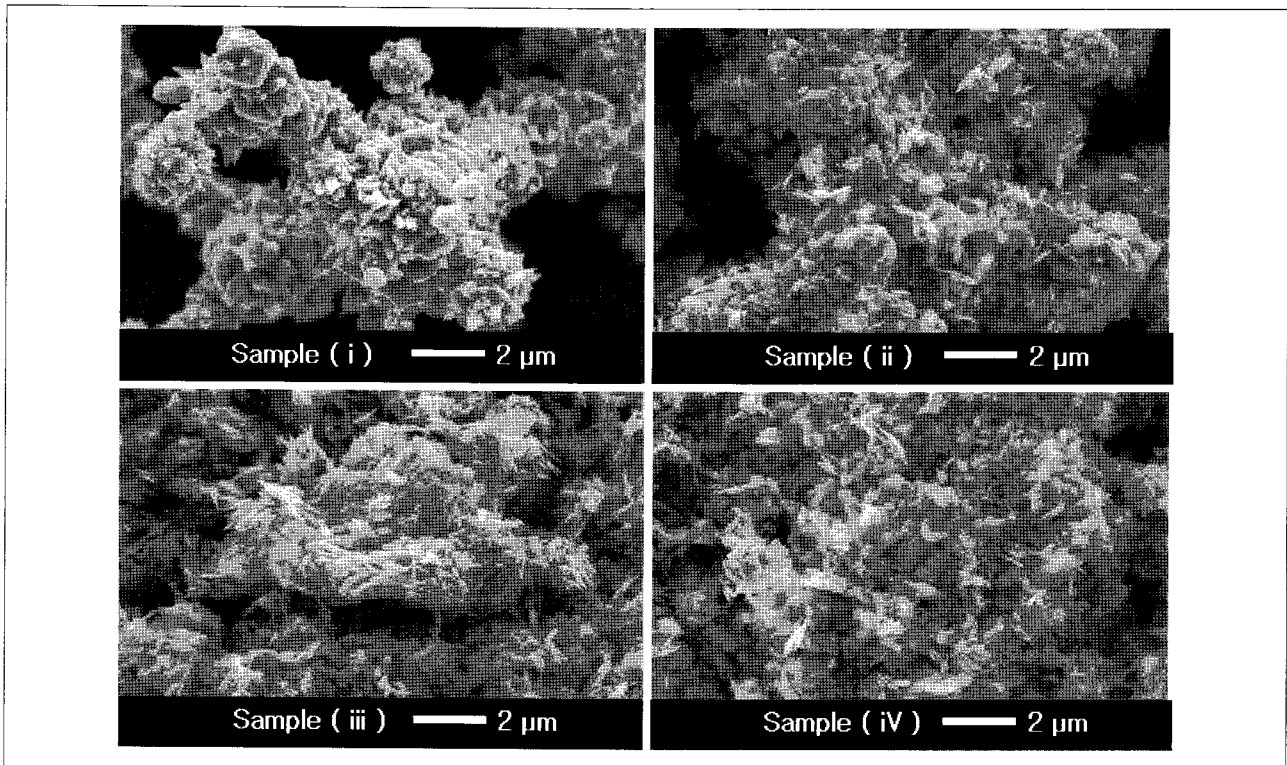


Fig. 2 SEM image of Co(OH)_2 coated Ni powders synthesized as a function of the cobalt ratio ; 0.0wt% (i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii), 15.5wt% (iv).

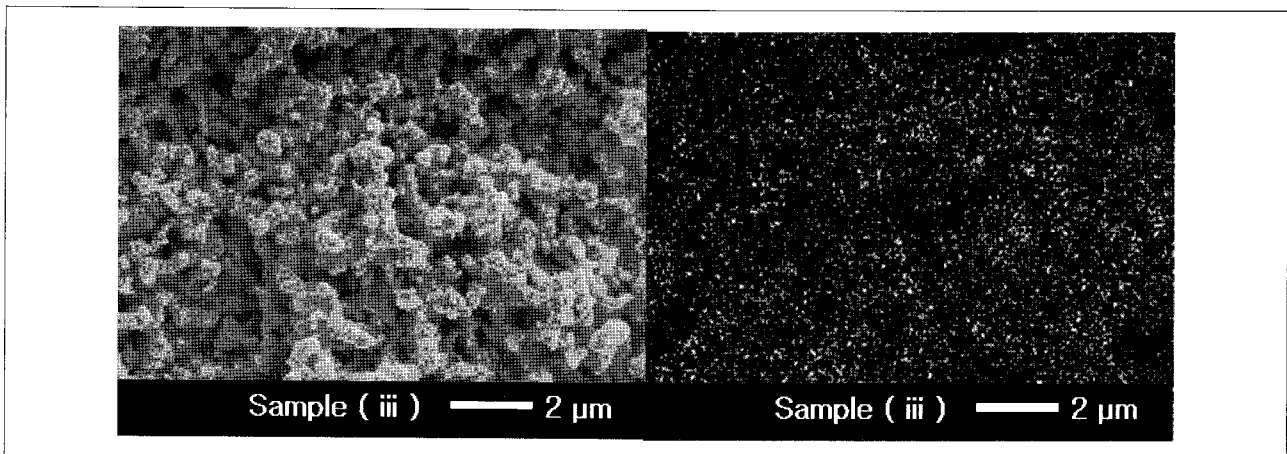


Fig. 3 SEM image & Cobalt distribution in the Co(OH)_2 coated Ni powder prepared by precipitation synthesis ; 8.4wt% (iii).

Table 1. Cobalt yield of Co(OH)_2 coated Ni powder obtained as a function of pH and synthesis temperature at constant precursor composition

		The amount of Co in precursor	The amount of Co in product	Co yield
pH	12~13	5.5 wt%	5.5 wt%	100%
Temp.	25°C			
pH	10~11	5.5 wt%	4.2 wt%	76.4%
Temp.	25°C			
pH	12~13	5.5 wt%	4.7 wt%	85.5%
Temp.	45°C			

Table 2. Cobalt yield variation of Co(OH)_2 coated Ni powder obtained as a function of precursor cobalt wt% at constant pH and synthesis temperature

	The amount of Co in precursor	The amount of Co in product	Co yield
pH 12~13 Temp. 25°C	5.5 wt%	5.5 wt%	100%
pH 12~13 Temp. 25°C	8.4 wt%	8.4 wt%	100%
pH 12~13 Temp. 25°C	15.5 wt%	15.0 wt%	96.7%

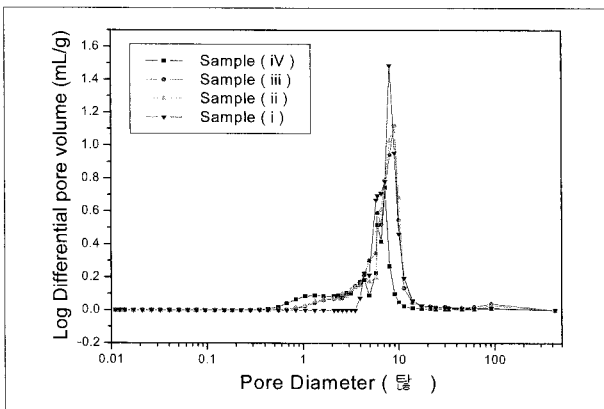


Fig. 4 pore size distribution of the sintered porous Ni plate made of Co(OH)_2 coated Ni powder, sintered at 700°C in the reduction gas condition. ; 0.0wt% (i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii), 15.0wt% (iv)

3.2 Morphology and composition of Co-Ni electrodes

cobalt 양이 서로 다른 Co(OH)_2 코팅 Ni 분말을 tape casting 후 환원 분위기로에서 소성하여 다양한 조성의 Co-Ni 공기극을 제조하였다. 소성 조건은 기존의 소성 조건과 동일하였다. 기공도는 Archimedes 법과 Hg porosimetry로 측정되었다. 새롭게 개선된 공기극은 (4시간 불밀) 78.8%에서 73.9%, 70.3%로 기공도의 감소가 일어난다. 이는 소성중에 코발트의 확산에 의한 결과이다.

Cobalt 수산화물이 환원분위기로에서 Cobalt 원자로 소성중

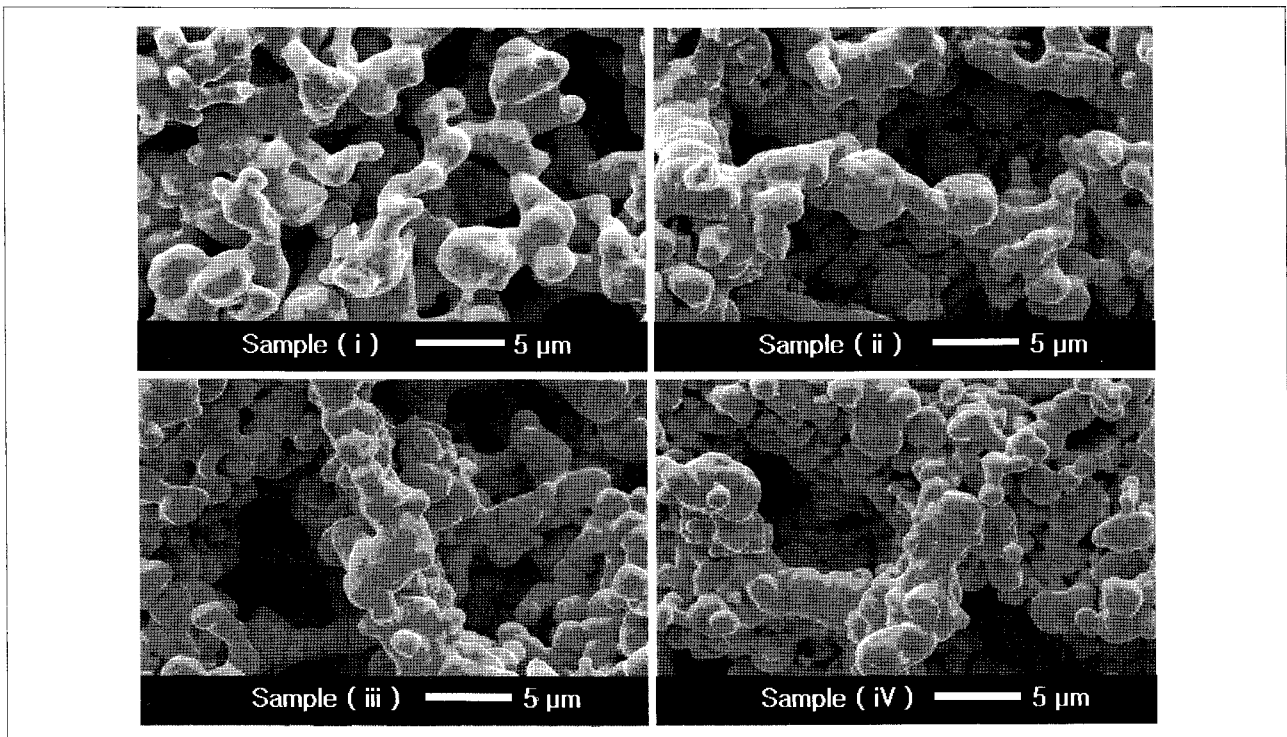


Fig. 5 SEM images of porous Co-Ni electrodes; 0wt%(i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii), 15.0wt% (iv).

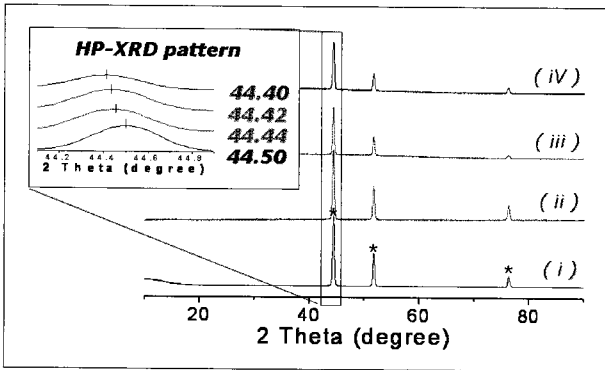


Fig. 6 XRD patterns of Co-Ni cathodes ; 0wt% (i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii), 15.0wt% (iv).

에 Ni 입자에 확산되어 고용체를 이루게 되며 Cobalt 원자와 Ni 입자사이에 표면에너지의 변화로 인해 입자크기의 변화가 나타난다. 기공 크기 분포도는 Hg porosimetry로 측정된 결과를 그림 4에서 나타내었고, 평균 기공의 크기는 8 μ m 로 측정되었다.

다양한 Cobalt 량의 Co-Ni 공기극의 SEM 사진은 그림 5에 나타내었다. 전극의 구조는 그림에서 보듯이 2-6 μ m의 Ni 입자가 서로 뼈대를 이루며 뼈대 사이에는 기공을 이루었다. Cobalt의 량이 증가할 수록 Ni 뼈대의 주변에 작은 기공들이 존재하며 뼈대와 뼈대의 기공은 커지는 것으로 확인 할 수 있다.

제조된 공기극의 환원분위기에서 700 $^{\circ}$ C 소성 후의 XRD 결과는 그림 6에 나타내었다. Ni 함금의 peak외에 Co(OH)₂ 나 Co₃O₄ peak는 나타나지 않았다. 이는 cubic 구조의 (space group Fm3m) 단일상으로 소성중에서 Co-Ni 고용체를 이루었음을 알 수 있다.

Co와 Ni는 bcc 구조를 가지고 있으며 매우 근사한 격자 크기를 가지고 있었다. Vegard's law를 적용하여 Peak shift의 정도와 격자크기를 확인해 보려 하였지만 Co peak와 Ni의 (1,1,1) peak가 아주 가깝다는 문제점과 기계적 측정 오차 범위 내에서의 측정이라는 문제점을 가지고 있어서 여기서는 shift의 범위가 Co와 Ni의 peak 범위 내에 있다는 결과만을 확인 할 수 있었다.

3.3 Dissolution test

100% NiO 5.5wt%, 8.4wt% 세가지 시료를 가지고 용해도 실험을 실시하였고 그 결과는 그림 7에 나타내었다. 일반적으로 사용하는 NiO에 비하여 30%정도의 저감효과를 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 30ppm 정도의 용해도에서 20ppm 이하의

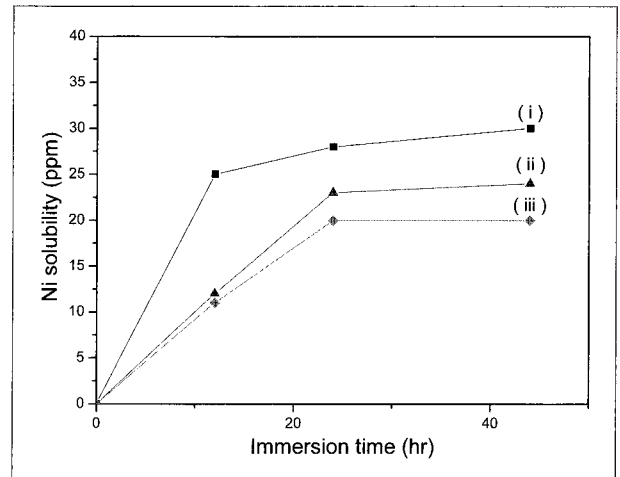


Fig. 7 Ni concentration variation of new modified NiO cathode measured in molten (Li_{0.62}/K_{0.38})₂CO₃ melt. ; 0wt%(i), 5.5wt% (ii), 8.4wt% (iii)

용해도 저감을 나타냈다. 8.5wt% 가 가장 낮은 용해도 저감 효과를 얻을 수 있었다. 15w% 샘플은 추후에 실험할 예정이다.

3.4 Performances of single cells

용융탄산염 연료전지의 운전에는 많은 요소들이 영향을 준다. 전극과 매트릭스의 두께, 전극의 기공도와 전해질의 량 등이 그것이다. 각각의 기공도를 계산하여 연료극에 20vol%, 공기극에 40vol% 매트릭스에 100%의 비율로 전해질이 들어가도록 계산하였다. 그림 8은 전지의 성능과 내부저항, 연료

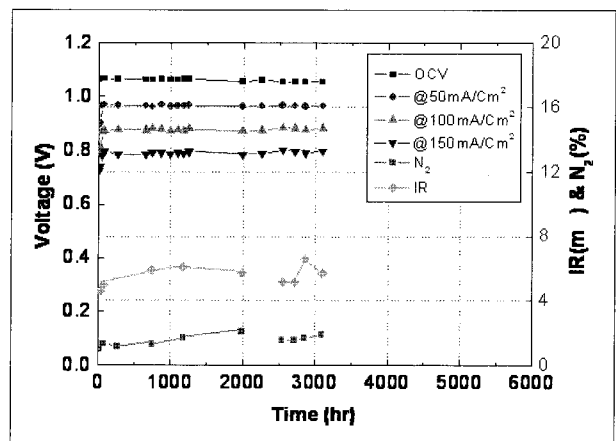


Fig. 8 Comparison of output voltage, N₂ in anode outlet and IR loss of the standard single cell and the modified single cell measured as a function of the operation time.

극 출구의 N₂ 가스 농도를 측정된 결과이다.

초기의 개회로전압은 1.068V, 연료극의 배기가스 N₂ 농도는 1%정도 그리고 내부저항의 값은 초기에 4.5mΩ정도 그리고 단위전지의 초기 성능은 0.794V로 확인되었다. 그 후로 2,300시간 운전 후 전지 운전의 시간이 지남에 따라 N₂농도는 2%, 내부저항 값은 6mΩ정도 그리고 단위전지의 성능은 0.788V로 안정화됨을 확인 하였으며 3,700시간 안정된 전지운전을 하고있다.

4. Conclusion

본 실험은 MCFC 전극의 대면적 대량생산 가능성과 공기극의 용해도 저감을 위해 수행되었으며, 경제적인 생산 공정의 조건확립을 목표로 진행 되었다. 상온에서 쉽게 제조가 가능한 hydroxide 물질을 침전법으로 제조하여 Co(OH)₂/Ni 분말을 생산하였고, 제조된 분말을 테이프 케스팅 과정과 환원 소성 공정 이용하여 Co-Ni 합금 공기극을 성공적으로 제조하였다. 또한, 테이프 케스팅 과정과 환원 소성 공정의 조건변화를 통해 기공 크기와 기공도를 MCFC 공기극으로 사용할 수 있도록 조절하였고 높은 cobalt 침전 수율로 5.5wt%, 8.4wt%, 15.0wt% Co-Ni 공기극을 제조하였다. 이렇게 제조된 공기극은 고용체를 형성하였으며 MCFC 공기극으로 사용하기에 적합하였다. Co-Ni 전극을 산화하여 공기극 가스 분위기에서 용해도 실험을 실시하였으며 기존의 NiO 전극에 비하여 낮은 용해도를 보였으며, 최대 33%의 용해도 저감 효과를 보였다. 기존의 공기극을 대체해 단위전지에 적용한 결과, 기존의 단위전지와 비슷한 성능을 보임을 확인하였다.

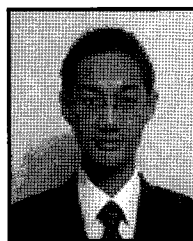
김시열



2005년 수원대학교 화공생명공학과 공학사

현재 서울대학교 화학생명공학과 석사과정
(E-mail : ks7407@snu.ac.kr)

Hary Devianto



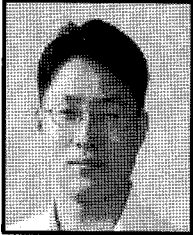
2002년 인도네시아 Bandung Institute of Technology, Department of Chemical Engineering, 공학사
2005년 태국 Asian Institute of Science and Technology, School of Environment, Resources, and Development, 공학석사

현재 서울대학교 화학생명공학과 박사과정
(E-mail : hary0321@snu.ac.kr)

References

- [1] A. L. Dicks, *Curr. Opin. Solid St. M.*, 8 (2004) 379-383.
- [2] S. Freni, F. Barone, and M. Puglisi, *Int. J. Energy Res.*, 22 (1998) 17-31.
- [3] S.T. Kuk, Y.S. Song, and K. Kim, *J. Power Sources*, 83 (1999) 50-56.
- [4] B.H. Ryu, J. Han, S.P. Yoon, S.W. Nam, T.-H. Lim, S.-A. Hong, and K.B. Kim, *J. of power Sources*, 137 (2004) 62-70.
- [5] M.J. Esxudero, T. Rodrigo, L. Mendoza, M. Cassir, and L. Daza, *J. of power Sources*, 140 (2005) 81-87.
- [6] B.H. Ryu, I.G. Jang, K.H. Moon, J. Han, and T.-H. Lim, *J. of Fuel Cell Science and Rechnology*, 3 (2006) 389-394.
- [7] S.-W. Song, K.-S. Han, I. Sasagawa, T. Watanabe, and M. Yoshimura, *Solid State Ionics*, 135 (2000) 277-281.
- [8] K.-I. Ota, Y. Takeishi, S. Shibata, H. Yoshitake, and N. Kamiya, *J. Electrochem. Soc.*, 142 (1995) 3322-3326.
- [9] Y. Zhu, H. Li, Y. Koltypin, and A. gendanken, *J. Mater. Chem.*, 12 (2002) 729-733.
- [10] M. Pourbaix, in: Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution, 2nd Edition, National Association of Corrosion Engineerd, Hoiston, TX, 1974, pp. 322-329.
- [11] J.H. Huang, C. Kargl-Simard, M. Oliazadeh, A.M. Alfantazi, *Hydrometallury*, 75 (2004) 77-90.
- [12] S. Scaccia, *J. Mol. Liq.*, 116 (2005) 67-71.
- [13] V. Pralong, A. Delahaye-Vidal, B. Beaudoin, B. Gerand, and J.-M. Taacon, *J. Mater. Chem.*, 9 (1999) 955-960.

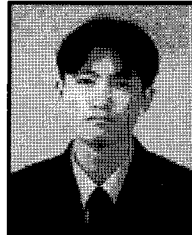
류보현



1998년 한국해양대학교 재료공학과 공학사
2000년 한국해양대학교 재료공학과 공학석사
2004년 연세대학교 금속시스템공학과 공학박사

현재 두산중공업 연료전지개발팀 선임연구원
(E-mail : bohun.ryu@doosan.com)

함형철



1999년 고려대학교 화학공학과 공학사
2002년 한국과학기술원 화학공학과 공학석사
2002-2003년 LG화학기술연구원 연구원
2003-2007년 KIST 연료전지센터 연구원

현재 한국과학기술연구원 연료전지연구단 연구원
(E-mail : hchahm@kist.re.kr)

한종희



1989년 연세대학교 화학공학과 공학사
1991년 서울대학교 화학공학과 공학석사
1996년 University of Cincinnati 화학공학과
공학박사

현재 한국과학기술연구원 연료전지연구단 책임연구원
(E-mail : jhan@kist.re.kr)

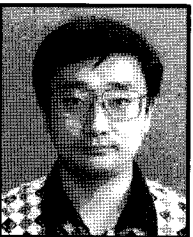
윤성필



1989년 연세대학교 세라믹공학과 공학사
1993년 연세대학교 세라믹공학과 공학석사
2000년 연세대학교 세라믹공학과 공학박사

현재 한국과학기술연구원 연료전지연구단 책임연구원
(E-mail : spyoon@kist.re.kr)

남석우



1982년 서울대학교 화학공학과 공학사
1984년 서울대학교 화학공학과 공학석사
1989년 Caltech 화학공학과 공학박사

현재 한국과학기술연구원 연료전지연구단 책임연구원
(E-mail : swn@kist.re.kr)

임태훈



1981년 서울대학교 공업화학공학과 공학사
1984년 State Univ. of New York at Buffalo
화학공학과 공학석사
1986년 State Univ. of New York at Buffalo
화학공학과 공학박사

현재 KIST 연료전지연구단장
(E-mail : thlim@kist.re.kr)

이호인



1970년 서울대학교 응용화학공학과 공학사
1972년 서울대학교 화학공학과 공학석사
1979년 미국 The University of Texas at Austin,
Department of Chemistry, Ph. D.

현재 서울대학교 화학생물공학부 교수
(E-mail; hilee@snu.ac.kr)