

Metal foam을 사용한 고분자 전해질 연료전지 성능 연구

김묘은¹ · 김창수² · 손영준^{1,2†}

¹과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템기술, ²한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부 연료전지연구실

A Study on Performance of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Using Metal Foam

MYO-EUN KIM¹, CHANG-SOO KIM², YOUNG-JUN SOHN^{1,2†}

¹Advanced Energy and Technology, University of Science and Technology, 217 Gajeong-ro Yuseong-gu, Daejeon, Korea

²Fuel Cell Laboratory, New and Renewable Energy Research Division, Korea Institute of Energy Research
152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

Abstract >> Single cell of PEMFC (polymer electrolyte membrane fuel cell) is composed of bipolar plates, gasket, GDL and the MEA. Bipolar plate's function is the collecting electricity, helping oxygen/hydrogen gas diffuse evenly and draining the water and heat. In this work, we have conducted experiments to low contact resistance and improve the performance of a 25 cm² single cell by using metal forms. We have following experimental cases: 1) Conventional graphite serpentine channel bipolar plate; 2) Channel-less bipolar plate with nickel(Ni) based metal foam which coated by various materials. We focused the difference in contact resistance and performance of the single cell with metal foam depending on various coating materials. The experimental results show the similar performance of single cells between with serpentine channel bipolar plates and with channel-less bipolar plate using metal foams. In addition, single cell with metal foam shows potential to higher performance than conventional channel.

Key words : PEM fuel cell(고분자 전해질 막 연료전지), Metal foam(금속 다공체), Contact resistance(접촉 저항), Water management(물 관리)

1. 서 론

연료전지는 수소를 연료로 고효율의 전기를 생산하는 장치로써 수소에너지 사업에서 가장 핵심이 되는 기술이다. 그 중 고분자 전해질(PEM-Polymer electrolyte membrane) 연료전지는 다른 연료전지에 비해 작동온도가 낮아 빠른 시동이 가능하고, 자동

차, 발전소 등 적용가능한 분야가 매우 많다는 장점이 있다.

PEM 연료전지에서 고분자 전해질 막전극접합체(MEA)는 2개의 기체확산층(GDL) 사이에 들어가고, 그들은 2개의 유로가 있는 흑연 분리판(graphite bipolar plate) 사이에 들어간다. 이렇게 여러 부품이 겹겹이 쌓여있는 구조로 인해 부품이 접촉되는 부분에 접촉 저항이 발생하게 되는데, 접촉 저항은 연료전지 성능에 있어 매우 큰 영향을 준다. 접촉 저항은 면적, 체결 압력, 그리고 사용하는 재료의 물성치에 의하여

[†]Corresponding author : yjsohn@kier.re.kr

Received : 2015.11.30 in revised form : 2015.12.28 Accepted : 2015.12.30

Copyright © 2015 KHNES

달라질 수 있다. 현재 가장 일반적으로 사용되는 사형(serpentine) 구조의 흑연 분리판은 Fig. 1에 나타나듯이 유로의 “rib” 부분에 압력이 집중되는 현상이 나타나는데, 이로 인해 접촉 저항이 높아지고 가스의 확산과 물 빠짐이 저해되는 가능성이 발생한다.

연료전지에서는 물 관리도 매우 중요한 문제점이다. 수분 공급이 부족하면 전해질막의 수소이온 전도도가 낮아서 성능을 저하시키는 dry-out 현상이 발생되고, 반대로 연료전지 내부에 축적된 액상의 물의 양이 너무 많은 경우, 특히 공기극(cathode)에서는, 액상의 물이 촉매의 활성을 저해시키고 기체의 확산을 방해하며 유로를 막아버리는 Flooding 현상으로 연료전지의 성능을 저하시킬 가능성이 커진다.

이전의 PEM 연료전지는 저(低)출력 운전 시 문제가 되는 dry-out 현상에 집중하였으나, 현재는 자동차, 비상전원 등 고(高)출력 운전이 주를 이루므로 액상의 물로 인한 성능 저하를 일으키는 flooding 현상이 더욱 중요한 문제로 부각되고 있다.

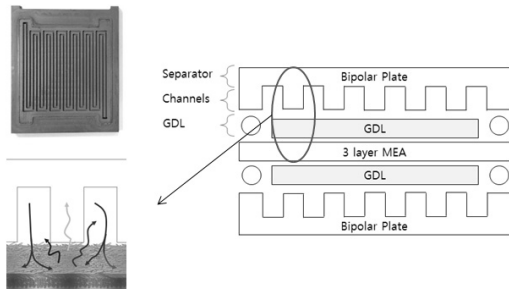


Fig. 1 Pressure concentration phenomenon on “rib” of serpentine channel

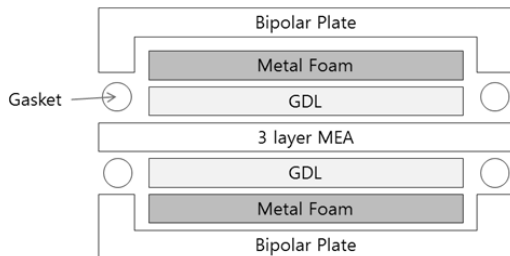


Fig. 2 Structure of PEM single cell using metal foam

본 연구에서는 25cm^2 크기의 막전극접합체(MEA)를 사용하는 단위전지에서 금속 다공체(Metal Foam)를 유로가 없는 흑연 분리판(channel-less bipolar plate)과 사용해 체결함으로써(Fig. 2 참조) 접촉 저항(contact resistance)을 낮추고, 형성되어 있는 유로를 통한 기체의 유동이 아닌 다공성 매체인 metal foam을 통하여 부분면적에만 압력이 집중 되는 현상을 방지하고, 전체적으로 고른 기체 확산과 액상의 물 배출을 좋게 함으로서 단위 전지 성능 향상을 목적으로 실험을 진행하였다.

2. 실험

본 연구에서는 일반적인 형태의 유로 구성을 가진 1종류의 흑연 분리판과 2종류의 metal foam 코팅을 대상으로 단위 전지 테스트를 통해 실제 접촉 저항과 성능을 분석 비교 하였다.

2.1 실험 구성

본 연구에서 단위전지는 25cm^2 크기의 GORE® MEA와, 기체확산층(GDL)으로 SIGRACET® 10BC를 사용하여 실험을 수행하였다.

접촉 저항과 성능 차를 알아보기 위해 Fig. 3 같은 test station을 설치하였다. Fig. 4는 실험을 위한 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

연료로 수소와 공기를 사용하였으며, Mass Flow Controller (MFC)를 통해 유량을 조절 하였다. 유량은 고정유량으로, 수소는 350 sccm , 공기는 1500 sccm 으로 설정하였다.

가습기를 통해 공급되는 연료의 온도와 단위전지 온도는 60°C 로 설정하였고, 상대습도는 $\text{RH}=100\%$ 으로 설정하였다. 연료의 가습기 통과 후 온도 변화로 인한 가스 응축을 방지하기 위해 연료가 가습기를 통과 후 바로 단위전지로 투입 될 수 있도록 최단 연결 하였다. 전압, 임피던스 등의 측정과 전류 부하 설

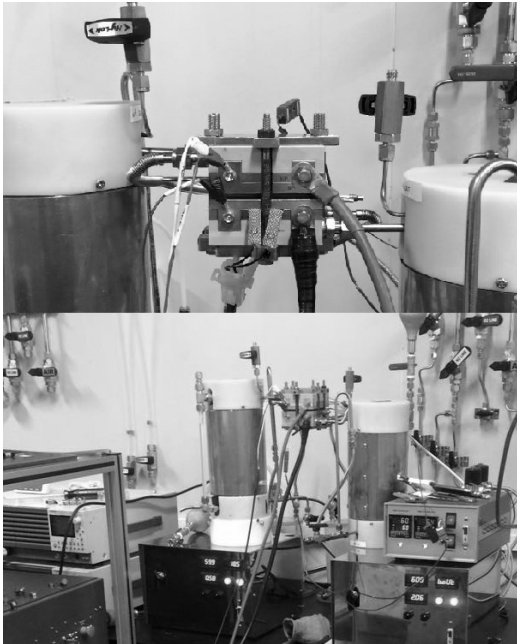


Fig. 3 Single cell and fuel cell test station

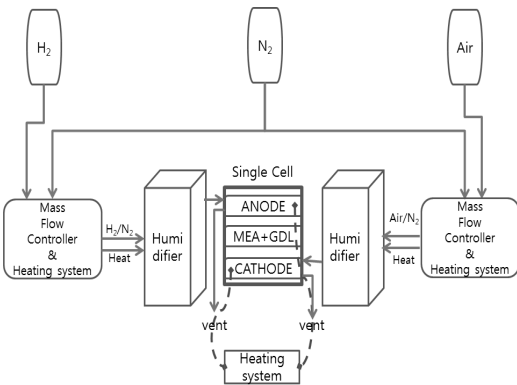


Fig. 4 Schematic diagram of an experimental setup

정을 위해 BioLogics사의 Electric Load HCP-803를 사용하였고, EC-Lab프로그램을 사용하여 데이터를 수집하였다.

2.2 실험 내용

정상상태에서의 단위 전지 성능을 평가하기 위해 Electric Load HCP-803를 제어하는 EC-Lab프로그램

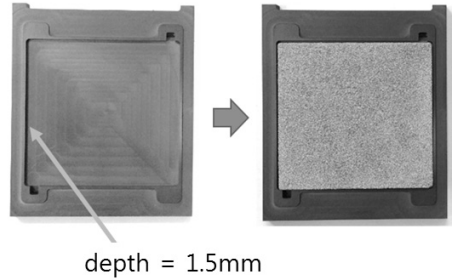


Fig. 5 Channel-less bipolar plate with gold coated metal foam

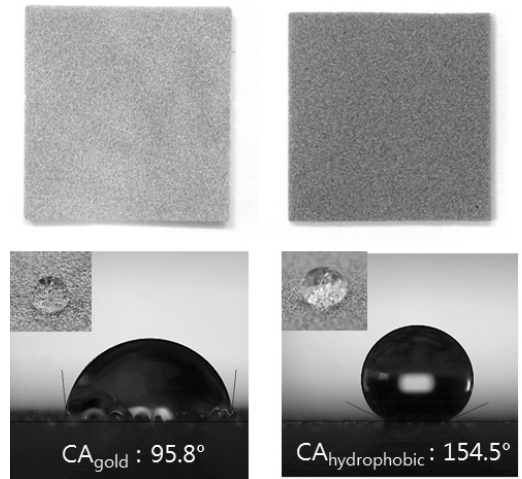


Fig. 6 Gold coated metal foam and its contact angle (CA) (left) / Hydrophobic coated metal foam and its contact angle (CA) (right)

을 사용하여 전압을 0.3V에서 1.2V까지 변화시키는 방식으로 출력전류 값을 구하고, 그 값들로 전압/전류 출력 특정 곡선(IV curve)을 구하였다. 접촉 저항의 경우, Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)를 통하여 impedance를 측정함으로써 HFR (high frequency resistance)값을 구하여 비교를 하였다.

제일 먼저 metal foam이 없는 Fig. 1과 같이 일반적인 serpentine channel의 접촉 저항과 성능을 측정 한 후 그 결과를 reference로 설정하고 실험을 진행하였다.

Fig. 5와 같이 1.5 mm 깊이의 챔버(chamber)가 파져 있는 channel-less 흑연 분리판에 2 mm 두께의

metal foam을 넣고 Fig. 2와 같이 체결 하였다. 이 때 사용한 metal foam은 니켈(Ni)로 만들어졌으며, porosity는 95% 이상인 다공성 유체이다. 2종류의 metal foam은 각각 금 코팅과 소수성 (hydrophobic) 코팅이 되어있어(Fig. 6), 각각의 metal foam을 실험용 단위 전지에 넣어 그 접촉 저항과 성능을 측정하였다.

그리고 metal foam을 사용한 단위전지의 경우, 과급율에 의한 성능의 변화를 추가적으로 확인하고자 고정 유량을 2배로 늘려 성능을 측정하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 Serpentine channel을 사용한 단위전지 성능 평가

Fig. 8에서 나타나듯이 성능평가의 reference가 될 serpentine channel의 IV curve를 구하였다.

주 전압인 0.6V에서 약 1.54 A/cm^2 의 전류밀도를 얻을 수 있었다. EIS 결과를 통해 ohmic resistance이라 불리는 HFR값은 그래프의 곡선이 x축과 만나는 절편의 값으로 나타난다. 35A에서 측정한 EIS결과 그래프가 나타난 Fig. 7을 살펴보면 HFR값은 $0.0409 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}^2$ 임을 알 수 있다.

3.2 Metal foam을 사용한 channel-less 단위전지

다른 종류의 코팅이 되어있는 각각의 metal foam을 사용한 channel-less 단위 전지 실험을 통해 얻은 결과를 serpentine channel 단위전지와 비교하였다.

3.2.1 금 코팅된 metal foam

금 코팅된 metal foam을 넣은 channel-less 단위 전지와 serpentine channel의 IV curve를 비교한 결과, Fig. 8에서 나타나듯 거의 동일한 성능이 나타났다. 그리고 Fig. 7에 HFR값도 거의 동일한 값을 가진다는 것을 확인 할 수 있다.

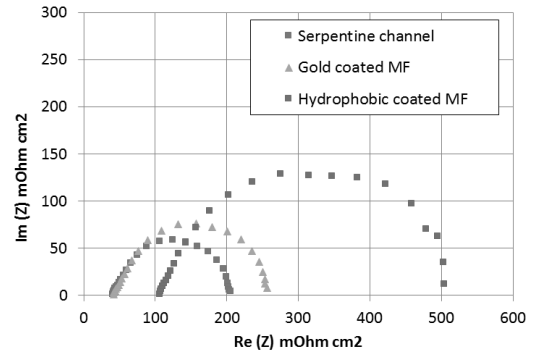


Fig. 7 EIS results of single cells

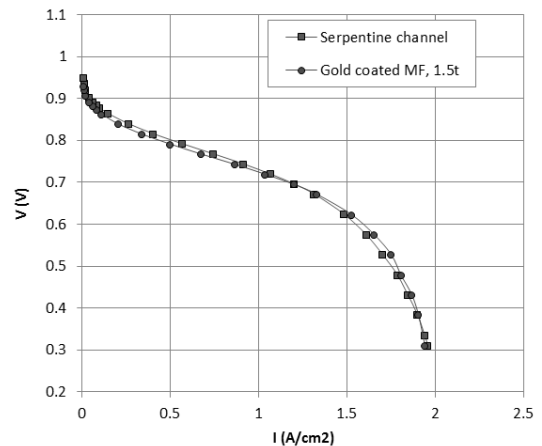


Fig. 8 IV performance comparison of single cells between with serpentine channel and channel-less with gold coated metal foam

3.2.2 소수성 코팅된 metal foam

소수성 코팅된 metal foam을 넣은 channel-less 연료전지와 금 코팅된 metal foam을 넣은 channel-less 연료전지의 IV curve를 Fig. 9에서 비교한 결과, 소수성 코팅된 metal foam을 넣은 channel-less 단위전지의 성능이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

그 이유는 Fig. 7과 Table 1에서 보이는 것처럼 소수성의 코팅된 metal foam을 사용한 단위전지의 HFR은 $0.1061 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}^2$ 으로 serpentine channel 단위전지와 금 코팅된 metal foam을 이용한 channel-less 단위 전지 보다 약 2배 이상 높은 접촉 저항 값을 가지기 때문이다.

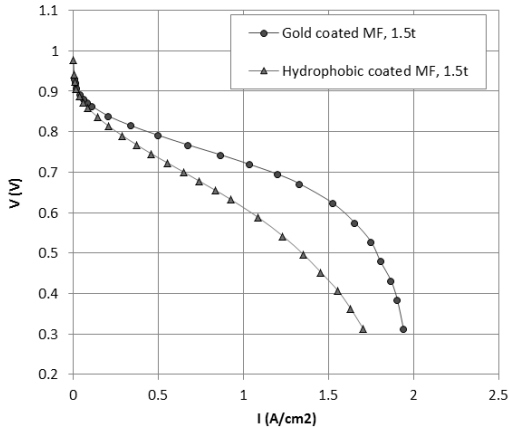


Fig. 9 IV performance comparison of channel-less single cells between with gold coated metal foam and with hydrophobic coated metal foam

Table 1 HFR of single cells

Single cell with :	HFR [Ohm·cm ²]
serpentine channel	0.0409
channel-less with gold coated metal foam	0.0415
channel-less with hydrophobic coated metal foam	0.1062

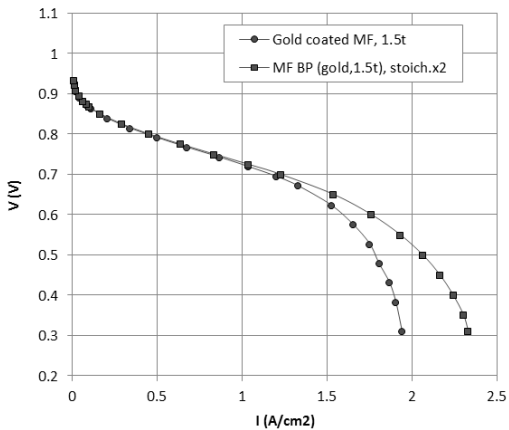


Fig. 10 IV performance comparison of single cells using channel-less with gold coated metal foam depending on stoichiometric ratios

3.3 과급률에 따른 단위전지 성능 비교

본 연구는 metal foam을 사용한 PEMFC 단위전지 실험에서의 성능 향상을 목적으로 수행되었다. 실험

에 사용된 metal foam 중 성능이 나은 금 코팅의 경우 고(高)전류에서 급격히 성능이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다(Fig. 8, 9). 이것은 공기극에 액상의 물이 많이 생성되어 물빠짐이 좋지 않다는 해석이 가능하다. 그래서 이 부분을 확인하기 위해 과급률을 2배로 늘려 실험을 해본 결과, Fig. 10에서 보는 것처럼 급격히 성능이 떨어지던 고전류 구간에서 눈에 띄게 완만히 하강하는 그래프를 볼 수 있다.

4. 결 론

Metal foam을 사용한 PEMFC 단위전지 실험 결과 금 코팅이 된 metal foam을 사용한다면 기존의 serpentine channel 단위전지와 거의 동일한 접촉 저항과 성능이 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 금 코팅의 경우 물 빠짐 능력이 향상 된다면, 더 낮은 성능이 나올 수 있다는 사실도 과급율을 변화시킨 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 소수성 코팅이 된 metal foam은 전기전도도가 낮아 접촉 저항도 높고 성능도 잘 나오지 않았지만, 고(高)전류에서 급격히 하강하는 그래프가 아닌, 완만히 하강하는 그래프 추세로 보아, 물 빠짐에 의한 급격한 성능 저하는 없다는 추측이 가능하다.

이런 내용을 토대로, metal foam에 금 코팅 수준으로 전기전도도가 높고, 대신 소수성 물질로 코팅이 가능하다면, 접촉 저항이 낮아지면서 정격 출력 영역에서의 성능도 좋고, 물 빠짐에도 도움을 주어 고(高)전류에서도 높은 성능이 나올 수 있는 가능성을 실험을 통하여 확인 하였다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 사업의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 20148520120160).

References

1. H Tawfik, Y Hung, D Mahajan “Metal bipolar plates for PEM fuel cell—A review”. *Journal of Power Sources* 163, 2007, pp. 755-767.
2. Chung-Jen Tseng, Bin Tsang Tsai, Zhong-Sheng Liu, Tien-Chun Cheng, Wen-Chen Chang, Shih-Kun Lo “A PEM fuel cell with metal foam as flow distributor”. *Energy Conversion and Management* 62, 2012, pp. 14-21.
3. Atul Kumar, R.G Reddy “Modeling of polymer electrolyte membrane fuel cell with metal foam in the flow-field of the bipolar/end plates”. *Journal of Power Sources*, Vol. 114, No. 1, 25 February 2003, pp. 54-62.