

접촉저항 및 전기전도도가 연료전지 성능에 미치는 영향

김 기정¹⁾, 윤 용식²⁾, 전 유택³⁾

The Effect of Contact Resistance and Electric Conductivity on PEMFC Performance

Ki-Jung Kim, Yongsik Yun, yutaek Jeon

Key words : CFD(전산유체역학), PEMFC(고분자연료전지), Bipolar plate(분리판)

Abstract : In this work, 3-dimensional, non-isothermal numerical simulation was performed to analyse the effects of contact resistance and electric conductivity of GDL on the fuel cell performance. For numerical simulation contact resistance of Carbon and Stainless steel was measured. The simulation results reveal that 10 times change of electric conductivity leads only 6.5% decrease of PEMFC performance. But stainless steel which has high contact resistance decrease fuel cell performance over 25% at a high current density region than carbon. This results show that suitable Surface treatment technology is needed for metal bipolar plate, especially stainless steel.

Nomenclature

u,v,w : velocity of x,y and z direction, m/s
T : temperature, °C
P : pressure, Pa
 μ : dynamic viscosity, kg-s/m²
 ρ : density of the mixture, kg/m³
I : local current density, A/cm²
V_{oc} : cell opencircuit voltage, V
V : cell voltage, V
 λ : Water contents, dimensionless
K : membrane conductivity, S/m

1. 서 론

연료전지에서 분리판은 막전극체(MEA)와 기체 확산층(GDL)의 구조적 지지, 발생한 전류의 수집, 반응가스의 수송, 반응열 제거를 위한 냉각수 수송등을 담당하는 핵심부품으로 최근 기계적 강도 및 가공성 확보가 어려운 흑연분리판 대신 기계적 성질이 우수한 금속계 분리판을 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

금속계 분리판의 경우 흑연 분리판과 같이 기계가공으로 유로를 제작할 경우 높은 제작가격 및 낮은 생산성으로 상용화가 어렵다는 단점을

가지고 있다. 이에 반응가스 및 냉각수 유로를 생성하는 방법으로 에칭 또는 스템핑 가공방법이 많이 연구되고 있다. 에칭의 경우 미세하고 복잡한 유로를 생성하기 쉬운 장점이 있으나 금속분리판의 두께와 무게로 인하여 스택의 무게 및 부피감소가 어려운 단점이 있다. 따라서 스택의 무게 및 부피를 감소시키고, 높은 가격 경쟁력과 생산성을 확보를 위하여 얇은 박판을 스템핑 가공하여 생산하는 방법이 집중 연구되고 있는 추세이다.

금속계 분리판을 연료전지에 적용할 경우 또 하나의 문제가 내식성과 높은 접촉저항이다. 내식성의 경우 금속성분의 용출이 MEA를 오염시키기 때문에 스택의 성능을 저하시키는 문제를 야기할 수 있으며, 접촉저항의 경우 내부 저항의 증가로 연료전지의 성능을 감소시키게 된다. 많은

-
- 1) 현대하이스코 연구개발팀
E-mail : siren77@hysco.com
Tel : (031)899-3340
 - 2) 현대하이스코 연구개발팀
E-mail : iyong1024@hysco.com
Tel : (031)899-3337
 - 3) 현대하이스코 연구개발팀
E-mail : ytjeon@hysco.com
Tel : (031)899-3337

국내외 연구기관에서 이러한 내식성 및 전기전도성을 보완하기 위한 다양한 코팅방법에 대하여 복합적으로 연구되고 있다.

본 연구에서는 분리판의 소재로 사용되고 있는 흑연과 스테인리스의 접촉저항과 GDL의 전기전도도가 성능 감소에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 분석하여 보고 연료전지의 성능향상을 위하여 .

2. 접촉저항 측정

전기전도성은 코팅샘플 양면에 가스확산층(GDL)과 금 코팅된 동판을 배열시켜 인장시험기로 하중을 가하고 전압과 전류를 측정하여 옴의 법칙을 사용하여 접촉저항을 계산하여 평가하였으며, 측정은 150N/cm²의 하중조건에서 측정되었다. 흑연, 스테인리스 소재 및 코팅 분리판의 접촉저항 값은 아래의 Table 1에 정리되어 있다.

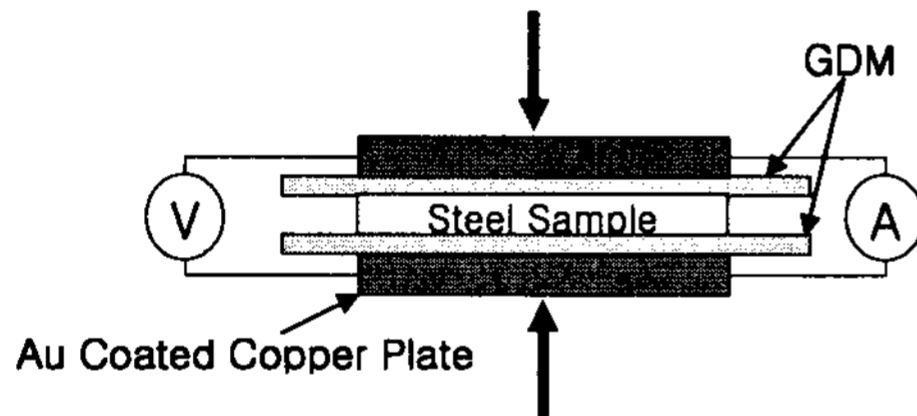


Fig. 1 Test Assembly of interfacial contact resistance

Table 1 분리판 소재에 따른 접촉저항

	흑연	SUS 316	개발분리판
접촉저항 (mΩ·cm ²)	12	74.75	16

3. 수치해석 모델

3.1 채널형상

각각의 접촉저항에 따른 성능 변화를 살펴보기 위하여 아래의 Fig.2와 같이 3차원 해석격자를 제작, 계산을 수행하였다. 해석격자의 형상은 실험에 사용된 분리판의 치수를 참조하여 제작되었으며 세부적인 수치 및 주요 물성들은 Table.2에 같이 나타내었다.

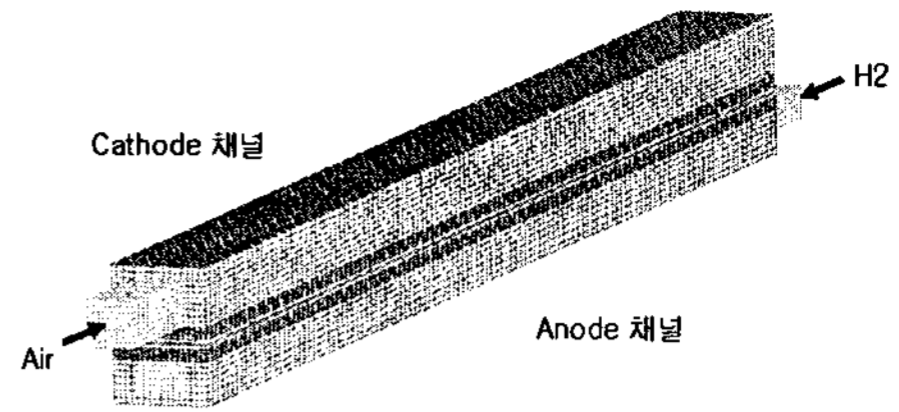


Fig. 2 해석영역의 격자 형상

Table 2 주요 치수 및 물성

	Anode	Cathode
채널 폭(mm)	1mm	1mm
랜드 폭(mm)	1mm	1mm
채널 높이(mm)	0.9mm	0.6mm
GDL 두께(mm)	0.3mm	0.3mm
촉매층 두께(mm)	0.015mm	0.015mm
Membrane (mm)	0.018mm	0.018mm
GDL Porosity	70%	70%
촉매층 Porosity	30%	30%
GDL의 전기전도도	2800, 1120, 280	

3.2 해석 방법

모델링된 연료전지의 해석을 위하여 상용 유동 해석 프로그램인 Fluent V6.3의 연료전지 해석 모듈을 사용하여 각 case의 I-V curve를 구하였다.

연료전지 성능해석을 위해 본 계산에서는 Gore membrane의 적용을 가정하여 Gore membrane의 특성을 반영하였으며, GDL의 경우 SGL사의 10BB 모델의 물성을 적용하였다.

Gore membrane의 경우 Nafion 계열의 membrane 보다 Ionic conductivity 및 Water diffusivity가 절반정도인 것으로 알려져 있다.¹⁾ 따라서 본 계산에서도 각각의 값에 0.5를 곱하여 계산에 적용하였다.

$$K = \frac{1}{2} (0.5139 - 0.326) \exp\left(1269 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad (1)$$

$$D_w = \begin{cases} 3.1 \times 10^{-7} \lambda (e^{0.28\lambda} - 1) \cdot e^{(-2436/T)}, & 0 < \lambda \leq 3 \\ 4.17 \times 10^{-8} \lambda (1 + 161e^{-\lambda}) \cdot e^{(-2436/T)} \end{cases} \quad (2)$$

$$D'_w = \frac{1}{2} D_w \quad (3)$$

electro-osmotic drag의 경우 Zawodzinski⁵⁾, Xinhuai⁶⁾,의 실험결과를 바탕으로 다음과 같이 모델링 하였다.

$$n_d = \begin{cases} 1.0 & , \lambda \leq 14 \\ \frac{1.5}{8} (\lambda - 14) + 1.0 & \end{cases} \quad (4)$$

시뮬레이션의 각 단계는 먼저 Navier-stokes 방정식을 통해 Mixture gas의 속도와 압력을 계산하고, 계산된 속도와 압력장을 사용하여 전기화학반응식과, 수증기와 물의 이동을 계산한 뒤 변화된 각 gas의 양을 반영하여 유동장을 계산하는 반복과정을 거치게 된다. 수렴조건은 각 반응 gas의 잔차가 10^{-6} 이하로 하였으며, 약 1000번의 반복계산을 통하여 수렴된 결과를 구하였다.

3.3 경계조건

연료전지의 성능곡선을 구하기 위하여 실제 성능실험과 동일한 방법으로 평균전류밀도에 따라 유량을 변화시켜 해석을 수행하였다. Anode와 Cathode 입구에서의 유입 유량은 반응면적과 가습조건, 양론비에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 작동온도 70°C, 가습조건은 100%, 양론비는 1.5/2.0 (Anode/Cathode)로 하여 유입유량조건을 설정하였고, 출구쪽은 대기압으로 경계조건을 설정하였다.

또한 연료전지 작동시 열이 발생하게 되는데 연료전지를 적절한 온도에서 작동시키기 위하여 가열 또는 냉각을 시켜주어야 한다. 실험의 경우 연료전지의 작동온도를 70°C로 유지하기 위하여 분리판의 양쪽면을 Heating plate로 가열하게 되는데 본 해석에서도 금속 분리판의 외부 전면이 70°C로 고정되도록 벽경계조건을 설정하여 계산을 수행하였다.

4. 결과

4.1 접촉저항 효과

접촉저항이 성능에 미치는 영향을 보기 위하여 접촉저항이 0일 때를 기준으로 하여 흑연 및 SUS316L의 접촉 저항값을 적용하여 전체적인 성능곡선을 구하였다.

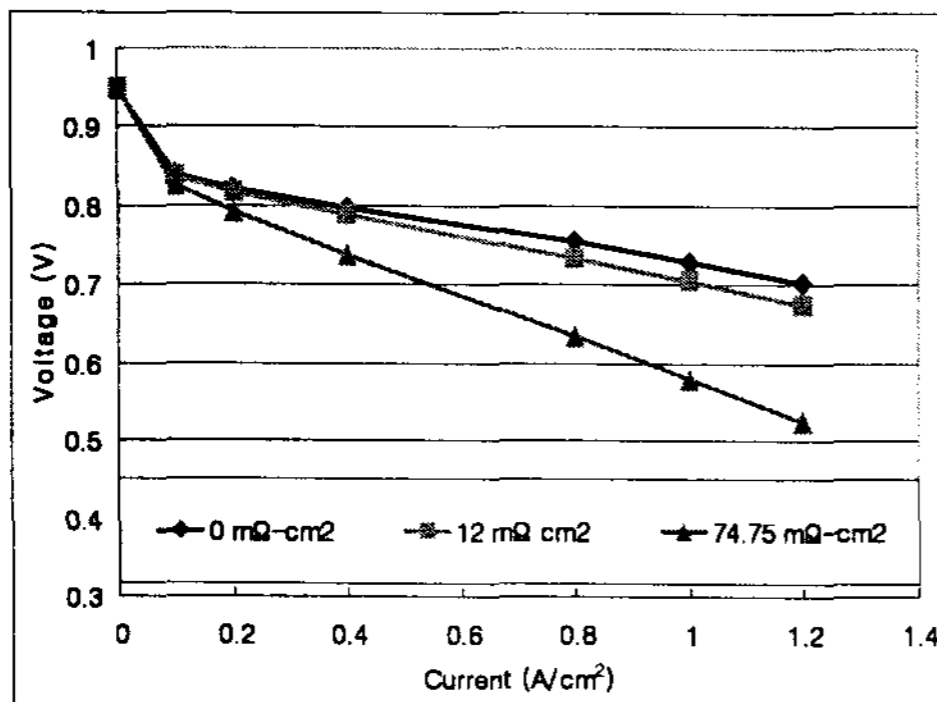


Fig. 3 접촉저항에 따른 성능곡선

Table 3 접촉저항에 따른 연료전지 성능

	case 1	case 2	case 3
접촉저항 (mΩ·cm²)	0	12	74.75
전압 (Volts)	0.7032	0.6742	0.5236

성능해석 결과를 보면 접촉저항이 증가할수록 연료전지의 성능은 크게 감소하는 것으로 나타났는데 평균 전류밀도가 1.2A/cm²일 때 각 case별 전압을 Table 3에 정리하여 보았다. 접촉저항의 경우 12에서 74.75로 6배증가하는 동안 연료전지 성능은 0.7032에서 0.5236으로 약 25% 가량 감소하는 것을 알 수 있다. 이때 case2와 case3의 Cathode 단면 전압분포를 살펴보면 case2의 경우 GDL과 분리판 사이의 전압의 강하가 0.7V에서 0.67V로 크지 않으나 case3의 경우 약 0.62V에서 0.52V로 약 1.0V가까이 전압이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 따라서 흑연의 경우 낮은 접촉저항으로 연료전지의 성능에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단되지만 금속의 경우 높은 접촉저항으로 낮은 성능을 보일 것으로 예측된다.

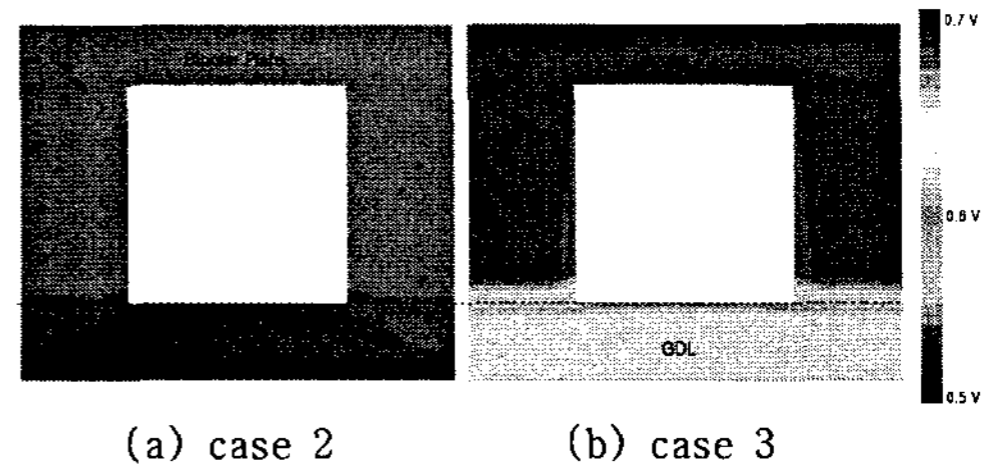


Fig. 4 접촉저항에 따른 전압분포도

4.2 GDL의 전기전도도

분리판의 접촉저항이 일정할 경우(12mΩ·cm²) GDL의 전기전도도가 성능에 미치는 영향을 Table 4에 정리하였다. 전기전도도의 경우 변화의 크기에 비하여 성능감소는 크지 않은 것으로 나타났는데 전도도가 10배 감소할 때 성능은 약 6.6% 감소하는 것으로 예측되었다. GDL의 전도도 감소가 성능감소에 크게 영향을 미치지 않는 이유는 GDL의 두께가 약 0.3mm 정도로 얇기 때문으로 판단된다.

Table 4 전기전도도에 따른 연료전지성능

	case 4	case 5	case 6
전기전도도 (S/m)	2800	1120	280
전압 (Volts)	0.6742	0.6659	0.6339

case4에서6까지 MEA중심에서의 전류밀도 분포를 살펴보면 case4에 비하여 case6의 전류밀도

분포가 큰 것을 알 수 있다. GDL의 전도도가 낮을수록 채널 중심부와 랜드 아래 부분과의 전류 밀도차이가 커지는 것으로 나타나는데 랜드에서 전달되는 전자가 채널 중심부까지 가는 것보다 랜드 아래 부분에서 반응에 참여하는 것이 훨씬 용이하기 때문에 여겨진다. 같은 이유로 case4의 경우 채널과 랜드부분의 전류밀도분포가 적은 것을 볼 수 있다.

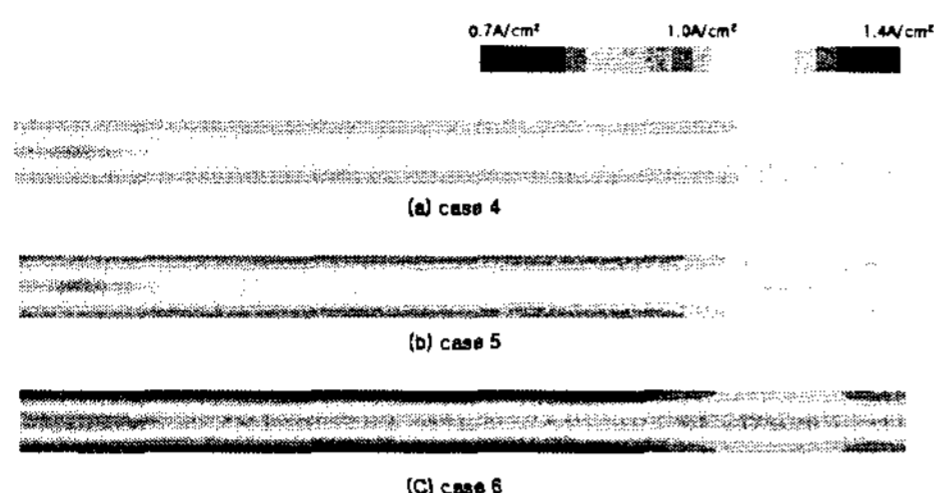


Fig. 5 GDL 전기전도도에 따른 전류밀도 분포

5. 결론

본 연구에서는 분리판의 접촉저항 및 GDL의 전기전도도가 연료전지의 성능에 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션을 통하여 분석해 보았다.

시뮬레이션 결과 GDL의 전기전도도 변화보다 분리판의 접촉저항의 변화에 의한 성능저하의 폭이 훨씬 큰 것으로 나타났다.

따라서 접촉저항이 흑연보다 높은 금속계 분리판을 연료전지에 적용하고자 할 경우 접촉저항을 낮추기 위한 적절한 코팅기술에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- Fuel Cell," 2000IMECE, pp. 2-6-3-2, 2000.
- [5] T. Zawodzinski, John Dvey, Judith Valerio, S. Gottesfeld, "The water content dependence of electro-osmotic drag in proton-conducting polymer electrolytes," *Electrochimica Acta*, Vol. 40, No. 3, pp. 297-302, 1994.
- [6] Xinhui Ye, Chao-Yang Wang, "Measurement of water Transport Properties Through Membrane-Electrode Assemblies," *J. of The Electrochemical Society*, Vol. 154, No. 7, pp. B676-B682, 2007.
- [1] Hyunchul Ju, Hua Meng, Chao-Yang Wang, "A single-phase, non-isothermal model for PEM fuel cells," *International J. of HEAT and MASS TRANSFER*, Vol. 48, No. 7, pp. 1303-1315, 2005.
- [2] Hyunchul Ju, Chao-Yang Wang Hong, Simon Cleghorn, Uwe Beuscher, 2005, "Nonisothermal Modeling of Polymer Electrolyte Fuel Cells I. Experimental Validation," *J. of The Electrochemical Society*, Vol. 152, No. 8, pp. A1645-1653, 2005.
- [3] Hua Meng, Chao-Yang Wang, 2004, "Large-scale simulation of polymer electrolyte fuel cells by parallel computing," *Chemical Engineering Science*, Vol. 59, No. 16, pp. 3331-3343, 2004.
- [4] S. Shimpalee, S. Dutta, J. W. Van Zee, 2000, "Numerical Prediction of Local Temperature and Current Density in a PEM