

작동 조건에 따른 고온 고분자 전해질 연료전지의 성능 변화에 대한 전산해석 연구

김경연 · 손영준^{†,*} · 김민진[†] · 양태현[†]

한밭대학교 기계공학과, [†]한국에너지기술연구원 연료전지연구단

(2010년 10월 21일 접수: 2010년 11월 16일 채택)

Numerical Study of Effects of Operating Conditions on the Performance of High Temperature PEMFC

Kyoungyoun Kim, Young-Jun Sohn^{†,*}, Minjin Kim[†], and Tae-Hyun Yang[†]

Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, San 16-1, Duckmyoung-dong, Yuseong-gu,
Daejeon 305-719

[†]Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Energy Research, 71-2, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343

(Received October 21, 2010 : Accepted November 16, 2010)

초 록

2차원 전산 해석 모델을 사용하여 고온 고분자 전해질 연료전지의 전산해석을 수행하였다. 해석 모델은 기존의 실험데이터와의 비교를 통해 검증하였으며, 다양한 작동 조건이 연료전지의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 일련의 전산해석을 수행하였다. 본 전산해석의 결과를 통해 교환전류밀도, 이온전도도, 공급유량 및 작동압력이 증가할수록 연료전지의 성능이 향상됨을 확인하였다. 또한, 기체 확산층의 기공율이 높을수록 기체의 확산이 향상되어 연료전지의 성능이 향상되었으며, 양극 기체 확산층의 기공율에 의한 효과가 음극에 비해 더 두드러지게 나타났다.

Abstract: A two-dimensional isothermal model has been employed for numerical simulations of a high temperature hydrogen fuel cell with proton exchange membrane. The model is validated with existing experimental data and used for examination on the effects of various operating conditions on the fuel cell performance. The present numerical results show that the cell performance increases with increasing exchange current density, ion conductivity of the membrane, inlet gas flow rate as well as operating pressure. Also, higher porosity of gas diffusion layer (GDL) results in higher cell performance due to enhancement of the diffusion through the GDL, where the cathode GDL porosity more influences on the performance as compared with the anode one.

Keywords: High temperature PEMFC, Computational Fluid Dynamics, Fuel cell performance, Operating condition

1. 서 론

수소와 공기를 연료로 하는 고분자 전해질 막을 이용하는 연료전지 (PEMFC: polymer electrolyte membrane

fuel cell)는 높은 전력 밀도, 빠른 시동, 고효율 등과 같은 다양한 장점을 지니고 있어 유망한 청정에너지원으로 각광받고 있다. 최근 많은 연구가 PEMFC 기술개발에 집중되고 있음에도 불구하고, 여전히 현재의 PEMFC의 성능을 더 향상시켜야 할 필요가 있다. PEMFC 내의 물 및 열관리, CO와 같은 불순물에 대한 저 내구성, 양극에

*E-mail: yjsohn@kier.re.kr

서의 느린 전기화학 반응 및 높은 가격과 같은 다양한 기술적인 제한들은 연료전지의 상업적 확산에 장애물로 작용하고 있는 실정이다.¹⁾

이에, 최근에는 100°C 이상의 고온에서 작동하는 PEMFC에 대한 연구가 집중되고 있다. 고온에서 작동하는 연료전지는 저온 연료전지에 비해 다양한 장점을 지니고 있다.²⁾ 전기화학적 반응이 고온으로 인해 향상되며, 고온에서는 양극에서 발생하는 물이 기상으로 존재하므로 기상과 액상이 공존하는 저온 연료전지에 비해 물관리가 비교적 용이하다. 또한, 연료전지의 높은 작동온도로 인해 스택과 냉각수 사이의 온도 구배가 크므로 상대적으로 냉각 시스템이 단순화될 수 있다. 또한, PBI (polybenzimidazole) 계열의 막을 사용하는 고온 연료전지에서는 Nafion과 같은 일반적인 저온 연료전지 막과는 달리 막의 이온 전도도가 가습 정도에 영향을 받지 않는다. 이러한 이유로 고온 PEMFC 시스템에서는 별도의 가습장치가 필요하지 않아 시스템을 단순화 할 수 있다. 고온 PEMFC의 가장 중요한 장점 중의 하나는 고온 작동 시, 백금 촉매의 CO에 대한 내구성이 현저히 증가한다는 점이다. 이는 연료전지 시스템에서 상대적으로 낮은 순도의 개질된 수소를 사용할 수 있게 하여 산업적 적용을 용이하게 한다.

그러나 고온 PEMFC의 다양한 장점에도 불구하고 현실적으로 사용하기 위해선 아직까지 해결해야 할 다양한 이슈들이 존재한다. 일례로, 연료전지 내의 여러 부품들은 일반적으로 온도가 증가할수록 구조 및 화학적 성능저하를 겪게 된다. 이러한 재료적인 한계로 인해 연료전지의 작동 조건이 제한 받게 된다. 따라서, 다양한 작동 조건에 따른 연료전지의 성능을 파악하는 것이 연료전지의 성능 향상을 위해 필수적이며, 이와 관련하여 다양한 실험 및 전산해석 연구가 수행되었다.

실험을 통한 연구는 주로 고온 PEMFC막에 대해 집중적으로 수행되었다. Savadogo³⁾은 고온 작동환경에서의 PEEK (polyether-etherketones) 및 PBI 복합 막과 같은 비불소계 막에 대한 실험적 연구 및 불소계 저온 연료전지 막과의 비교 연구를 수행하였다. Cheng et al.⁴⁾은 고온 PEMFC 막에서 발생하는 수소 crossover에 대한 실험적 테스트를 수행하여 압력 및 가습 정도 보다는 온도의 효과가 큼을 제시하였다. 또한, Lobatoo et al.⁵⁾은 PBI 막 합성에 영향을 주는 여러 인자에 대해 시험한 결과, 높은 분자량을 갖는 PBI 막이 기계적, 화학적 및 열적 안정성을 가짐을 보고하였다. 전산해석을 통한 연구로는 Cheddi & Munroe⁶⁾은 고온형 PBI 막 연료전지에 대한 3차원 전산모델을 개발하여, 성능 및 연료전지 내부의 온도 분포를 예측하였다. Ubong et al.⁷⁾은 고온형 PEMFC에 대한 isothermal model을 개발하여 실험 데이터와의 검증을 수행하였다.

그러나, 대부분의 전산해석연구는 개발된 고온 PEMFC 모델의 타당성 확보에 집중되어있으며, 다양한 작동 조건에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 고온 PEMFC의 전산해석을 위한 2차원 isothermal 모델을 적용하여 연료전지의 다양한 작동 인자 및 설계 변수가 연료전지 성능에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 기존 문헌의 실험 결과와의 비교를 통해 본 전산해석 모델의 타당성을 확보하였으며, 이온전도도, 교환전류밀도, 작동 압력, 연료 공급율, 기체 확산층의 기공율과 같은 다양한 작동 인자들이 고온 PEMFC의 성능 변화에 미치는 영향을 파악하였다.

2. 전산해석 모델

Fig. 1은 고온 PEMFC의 전산해석을 위한 전체적인 계산영역 및 각 구성요소를 나타낸다. 양극 및 음극의 연료 공급 유로 사이에 막-전극 접합체 (MEA: membrane electrode assembly)가 위치하게 되며, 가습된 수소 및 공기가 각 유로로 공급되어 기체 확산층 (GDL: gas diffusion layer)을 통해 촉매층 (CL: catalyst layer)으로 전달되어 전기화학 반응을 일으키게 된다. 연료 공급 유로 내부의 유동을 이상기체로 이루어진 혼합 기체의 정상 상태의 층류 유동으로 가정하면 지배방정식은 아래와 같이 연속방정식 (식 (1))과 압축성 유체에 대한 Navier-Stokes 방정식 (식 (2))이다. 또한, 연료 기체의 물질 전달 현상은 Maxwell-Stefan 방정식 (식 (3))에 의해 기술된다.

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla p + \nabla \cdot \left\{ \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right\} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \left\{ -\rho \omega_i \sum_{j=1}^n \tilde{D}_{ij} \left(\nabla x_j + (x_j - \omega_j) \frac{\nabla p}{p} \right) \right\} = -\rho \mathbf{u} \cdot \nabla \omega_i \quad (3)$$

여기서, \mathbf{u} , p 는 각각 속도 벡터 및 압력, ρ , μ 는 혼합 기체의 밀도 및 점성계수를 나타낸다. 또한, ω_i , x_i 는 각 기체 성분의 질량 분율 및 몰 분율이며, \tilde{D}_{ij} 는 multicomponent 확산계수로 binary 확산계수 및 각

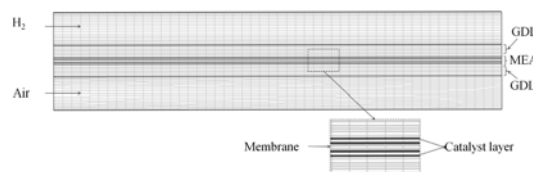


Fig. 1. A schematic diagram of the computational domain.

기체의 질량 분율로부터 구해진다.⁸⁾

기체 확산층과 촉매층에서의 연료 기체는 다공성 매질 내부에서의 유동 및 물질 전달 현상으로 묘사할 수 있다. 유동은 아래와 같이 다공성 매질에서의 seepage velocity로 표현되는 연속 방정식 (식 (4))과 Brinkman 방정식 (식 (5))을 통해 모델링한다.⁹⁾ 물질 전달은 다공성 매질 내부에서의 기체의 유효 확산 계수를 도입한 Maxwell-Stefan 방정식에 의해 기술된다 (식 (6)).

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = S = \sum S_i \quad (4)$$

$$\left(S + \frac{\mu}{K} \right) \mathbf{u} = \nabla \cdot \left[-\rho \mathbf{I} + \frac{1}{\varepsilon} \left\{ \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right\} \right] \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \left\{ -\rho \omega_i \sum_{j=1}^n \tilde{D}_{ij}^{eff} \left(\nabla x_j + (x_j - \omega_j) \frac{\nabla p}{p} \right) \right\} = S_i - (\rho \mathbf{u} \cdot \nabla \omega_i - \omega_i S) \quad (6)$$

여기서, K 과 ε 은 다공성 매질의 투과도 및 기공율을 나타낸다. \tilde{D}_{ij}^{eff} 는 다공성 매질인 GDL 내부에서의 기체 확산계수를 나타내며 Bruggemann 관계식에 의해 다음과 같이 모델링된다.¹⁰⁾

$$\tilde{D}_{ij}^{eff} = \varepsilon^{1.5} \tilde{D}_{ij} \quad (7)$$

한편, 촉매층에서는 각 성분의 기체가 전기화학반응으로 인해 생성 또는 소멸되어 유동 및 물질 전달현상에 영향을 미치게 된다. 이에 대한 효과는 아래와 같은 생성항을 위의 식 (4)-(6)에 부과하여 반영한다.

$$S_{H_2} = -\frac{j_a}{2F} M_{H_2}, \quad S_{O_2} = -\frac{j_c}{4F} M_{O_2},$$

$$S_{H_2O} = \frac{j_c}{2F} M_{H_2O} \quad (8)$$

여기서, j 는 전기화학 반응을 (A/m^2), F 는 패러데이상수 ($96487 C/mol$), M 은 각 기체의 분자량을 의미한다.

양이온 교환막을 사용하는 PEMFC 내부에서의 전류는 막을 통한 양이온 (H^+)의 이동으로 인해 발생하는 전류와 전극을 통해 이동하는 전자에 발생하는 전류로 나눌 수 있다. 이는 각각의 전류에 해당하는 전위차 (ϕ)로 인한 이온의 플럭스에 대한 보존 방정식 (식 (9))을 해석하여 모델링 할 수 있다.^{6,7)} 각각의 촉매층에서 전기화학 반응으로 인해 발생, 소멸하는 이온을 반영하기 위해 아래와 같은 생성항 (식 (10)-(11))을 반영하여 해석한다.

$$\nabla \cdot (-\sigma_s \nabla \phi_s) = S_s, \quad \nabla \cdot (-\sigma_m \nabla \phi_m) = S_m \quad (9)$$

$$S_s = -j_a, \quad S_m = j_a \text{ in the anode CL} \quad (10)$$

$$S_s = j_c, \quad S_m = -j_c \text{ in the cathode CL} \quad (11)$$

위의 전하량 보존 방정식의 생성항으로 부여되는 전류 밀도는 아래와 같이 단순화된 Butler-Volmer 방정식으로 모델링한다.⁷⁾

$$i_a = i_{o,a}^{ref} \left(\frac{C_{H_2}}{C_{H_2}^{ref}} \right)^{1/2} \frac{2F}{RT} \eta_a \quad (12)$$

$$i_c = i_{o,c}^{ref} \left(\frac{C_{O_2}}{C_{O_2}^{ref}} \right) \exp \left(-\frac{\alpha_c F}{RT} \eta_c \right) \quad (13)$$

각각의 전극에서 발생하는 전류는 교환전류밀도 (i_o) 및 활성화전압 (η)에 의해 결정되며, 활성화전압은 아래와 같이 주어진다.

$$\eta = \phi_s - \phi_m - \phi_{eq} \quad (\phi_{eq,a} = 0, \quad \phi_{eq,c} = V_0) \quad (14)$$

3. 결과 및 고찰

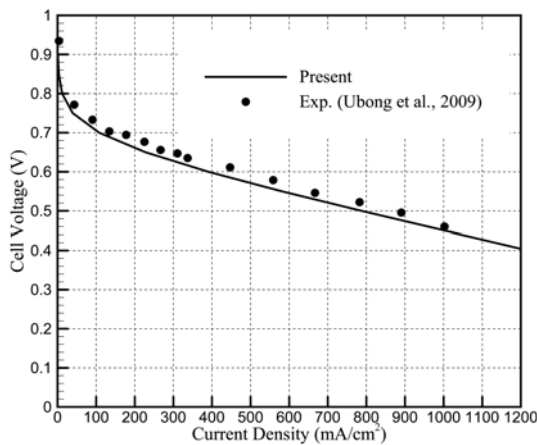
앞서 기술한 고온 PEMFC 전산해석 모델은 유한요소법 (FEM: finite element method)에 기반한 상용 수치해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 사용하여 해석되었다. 각 지배방정식은 weakly compressible Navier-Stokes, Maxwell-Stefan diffusion and convection, conductive media DC 모듈을 통해 반영되었으며, PARDISO (parallel sparse direct linear solver) 기법을 사용하여 해석된다. 각 방정식의 반복계산을 통해 해의 상대적 갭신값이 10^{-6} 보다 작으면 해가 수렴하였다고 판정하였다. Fig. 1에서 나타낸 계산 영역에 대한 구체적인 치수 및 작동 조건에 대한 사항은 Table 1에서 나타내었으며, (N_x, N_y) = (50, 67)의 계산 격자를 사용하였다.

우선, 수치해석 방법의 타당성을 검증하기 위해서 기존 문헌의 실험 결과와 비교하였다. Ubong et al.⁷⁾은 BASF 사의 PBI 막을 사용하여 1기압, 180°C에서 연료(수소, 산소) 이용률, 각각 1.2^{-1} 과 2.0^{-1} 에 대한 고온 연료전지의 실험을 수행하였으며, isothermal 모델을 사용하여 그들의 실험결과를 잘 예측함을 보고하였다. 본 연구에서는 이에 해당하는 작동 조건 및 입구 경계 조건을 부과하여 2차원 전산해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 2에서 나타내었다. 본 연구에서 수행한 2차원 전산해석을 통해 예측한 연료전지의 성능 곡선은 실험결과와 잘 일치하며, 이를 통해 본 연구에서 수행한 전산해석 결과의 타당성을 확인하였다. 본 전산해석 모델을 이용하여 고온연료전지의 다양한 작동 인자 및 설계 변수가 연료전지 성능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

우선, 교환전류밀도의 변화에 따른 고온연료전지의 성

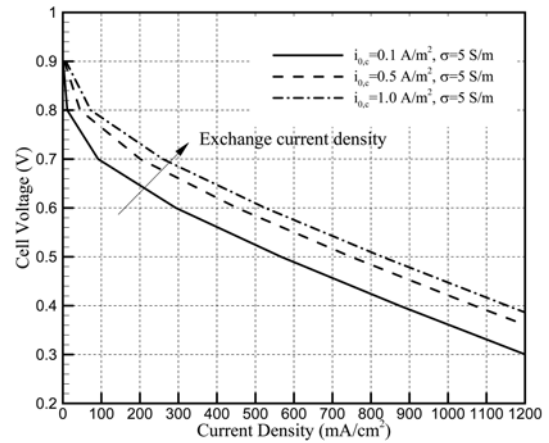
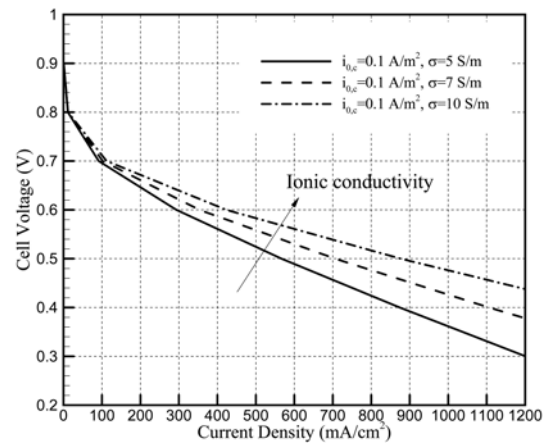
Table 1. Computational parameters

T	Operating temperature	180 [°C]
P	Operating pressure	101325 [Pa]
ε	GDL porosity	0.4
K	Permeability of GDL	1.18×10^{-11} [m ²]
L_{Ch}	Streamwise length of gas flow channel	20 [mm]
t_{Ch}	Height of gas flow channel	1 [mm]
t_{GDL}	GDL thickness	380 [mm]
t_{CL}	CL thickness	50 [mm]
t_{mem}	Membrane thickness	100 [mm]
$D_{H_2-H_2O,ref}$	Binary diffusion coefficient	9.15×10^{-5} [m ² /s]
$D_{H_2-H_2O,ref}$		2.82×10^{-5} [m ² /s]
$D_{O_2-N_2,ref}$		2.2×10^{-5} [m ² /s]
$D_{N_2-H_2O,ref}$		2.56×10^{-5} [m ² /s]
σ_m	Ionic conductivity of the membrane	7 [S/m]
σ_s	Electrical conductivity of GDL	222 [S/m]
$i_{0,a}^{ref}$	Exchange current density	1×10^5 [A/m ²]
$i_{0,c}^{ref}$		0.1 [A/m ²]
$C_{H_2,ref}$	Reference hydrogen molar concentration	40.88 [mol/m ³]
$C_{O_2,ref}$	Reference oxygen molar concentration	40.88 [mol/m ³]
α_c	Cathodic transfer coefficient for ORR	1.0
V_o	Open circuit voltage	0.96 [V]

**Fig. 2. Comparison of the present numerical results with experimental data.**

능변화를 조사하였다. 일반적으로 음극 활성화전압은 양극 활성화전압에 비해 크기가 매우 작으므로, 양극의 교환전류밀도만을 변화시켜 전산해석을 수행하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 전류 밀도가 낮은 영역에서 활성화전압으로 인한 손실은 교환전류밀도가 감소할수록 증가하며, 전류 밀도가 높은 영역에서는 셀 전압의 감소 기울기가 동일하게 나타난다.

연료전지 막의 이온전도도의 변화에 따른 셀 전압의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이온전도도가 증가할수록 셀 전압 또한 증가하게 되어 연료전지의 성능을 향상시킨다. 이러한 성능의 향상은 전류밀도가 높은 영역에서 두드러지게 나타난다. 전류 밀도가 낮은 영역에서는 이온 전도도에 따른 셀 전압의 차이는 미비함을 확인할 수 있는데, 이는 전류 밀도가 낮은 경우, 이온 전도도와 연관된 막 저항 손실 보다 활성화전압에 의한 손실이 더 크기 때문이다.

**Fig. 3. Effects of cathodic exchange current density on the cell performance.****Fig. 4. Effects of the ionic conductivity on the cell performance.**

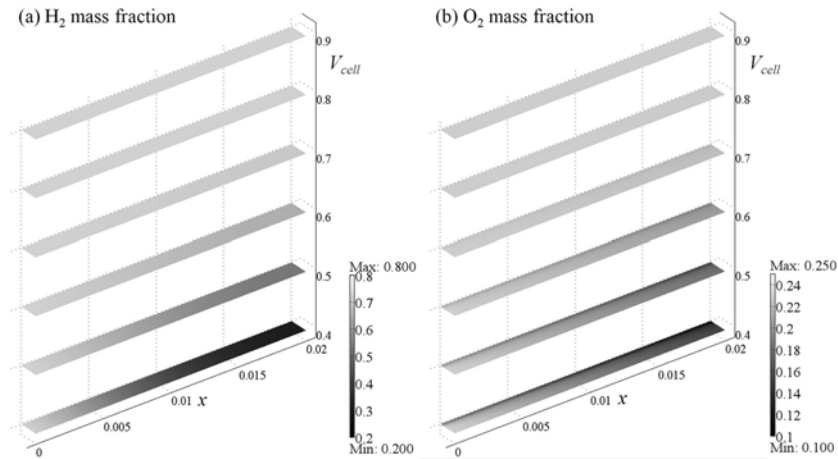


Fig. 5. Distributions of fuel mass fraction in the flow channel ($i_{0,c} = 0.1 \text{ A/m}^2$, $\sigma = 7 \text{ S/m}$).

연료 기체의 물질전달 현상을 파악하기 위해 $i_{0,c} = 0.1 \text{ A/m}^2$, $\sigma_m = 7 \text{ S/m}$ 의 경우에서 각 작동 전압에 따른 연료 기체의 질량 분율의 분포를 Fig. 5에서 나타내었다. 셀 전압이 감소할수록 연료 기체의 질량 분율이 감소하며 이는 전류밀도의 증가로 인한 결과이다. 연료 공급 유로의 하류로 갈수록 질량 분율이 감소하며, 이는 입구에서 공급된 연료가 유동방향으로 진행하면서 촉매층까지 전달되어 전기화학반응으로 인해 소비되기 때문이다. 연료기체는 대류 및 확산 현상에 의해 기체 확산층을 통해 촉매층으로 전달되는데, 이때 연료의 전달현상은 확산이 지배적이다. 따라서 산소의 확산 계수가 수소에 비해 훨씬 작은 값을 가지므로, 동일한 이용률의 조건에서는 산소의 확산 전달현상이 전체 연료전지 성능에 미치는 영향이 크게 된다. 셀 전압이 0.4 V인 경우를 살펴보면, 산소의 확산이 수소의 경우보다 훨씬 느림을 확인할 수 있다. 즉, 수소의 질량 분율의 분포는 유동방향으로만 크게 감소할 뿐, 연료공급 채널에서 촉매층 방향으로의 변화는 거의 미비하다. 반면, 산소의 질량 분율은 유동이 진행할수록 감소하며, 동시에 촉매층에 접근할수록 낮은 값을 나타낸다. 촉매층에서의 낮은 산소 농도는 교환전류밀도의 감소를 초래하게 되며 궁극적으로 큰 농도 손실을 야기하게 된다.

공급되는 연료의 유량에 대한 효과를 살펴보기 위해서 연료 공급 유로의 입구 경계조건의 유량을 변화시켜 전산해석을 수행하였다. 전류밀도 $i = 8000 \text{ A/m}^2$ 기준 화학양론수가 대략 0.5부터 4.0에 해당하는 속도를 부과하였다. Fig. 6에서 확인할 수 있듯이, 셀 전압이 높을 경우에는 발생 전류에 비해 충분한 연료가 공급되므로 유량에 따른 성능 차이는 거의 없이 동일한 성능을 나타낸다. 반면, 셀 전압이 낮아져 발생 전류 밀도가 증가할수록 공

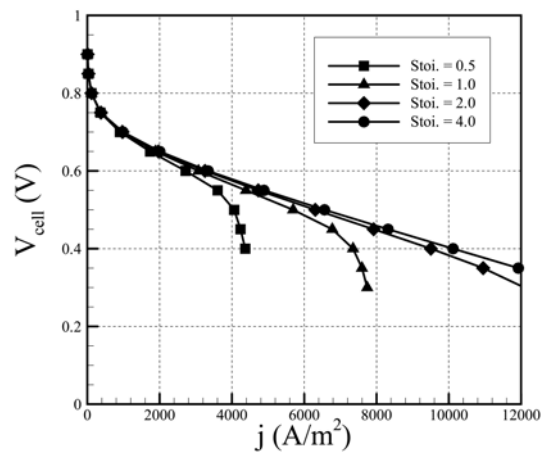


Fig. 6. Polarization curve for different inlet gas flow rates (The stoichiometries correspond to the current density of 8000 A/m^2).

급 연료의 부족으로 연료전지의 성능이 매우 낮아진다. 화학양론수가 1인 경우에는 이론 값인 $i = 8000 \text{ A/m}^2$ 부근에서 농도손실에 의해 성능이 급격히 감소하게 되며, 본 전산해석 모델이 농도손실을 잘 예측함을 확인하였다.

작동압력에 대한 연료전지의 성능을 파악하고자, 동일한 화학양론수의 경우에 대해 압력이 서로 다른 경우에 대한 전산해석을 수행하여 Fig. 7에 나타내었다. 동일한 화학양론수의 경우, 즉, 동일한 연료 공급량에 대해서 압력이 증가할수록 연료전지의 성능이 높게 나타난다. 이는 작동 압력의 증가로 인해 촉매층에서의 연료 농도가 증가하게 되어 활성화전압 손실을 감소시키기 때문이며, 예측된 성능 곡선에서도 이를 확인할 수 있다. 작동압력

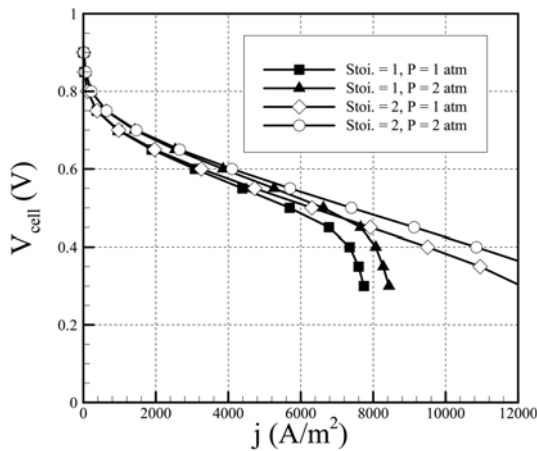


Fig. 7. Polarization curve for different operating pressure.

이 증가하면 동일한 공급유량의 경우 압력의 증가로 인해 공급 물 수가 증가하게 된다. 따라서 연료 공급량을 일정하게 유지하기 위해선, 압력의 증가만큼 연료공급 속도를 감소시켜야 한다. 본 전산해석 결과에 따르면, 동일한 연료 공급량의 경우, 입구 유속이 낮더라도 작동 압력을 증가시키는 것이 고온 연료전지의 성능 향상 방안의 하나임을 제시한다. 반면, 저온 연료전지의 경우, 양극에서 생성되는 물이 일부 액상으로 존재하여 연료 공급 채널을 막게 되므로, 이로 인한 농도 손실을 초래하게 된다. 따라서, 저온 연료전지에서는 응축된 물을 유로 내에서 효과적으로 제거하기 위해 빠른 유속으로 연료를 공급해주어야 한다.¹¹⁾ 이에 반해, 고온 연료전지는 생성된 물이 기상으로 존재하므로 플러딩 현상으로 인한 농도손실의 효과는 거의 무시할 수 있다.

마지막으로 기체 확산층의 기공율에 따른 연료전지의 성능 변화를 조사하였다. 작동압력 1기압, 전류밀도 $i = 8000 \text{ A/m}^2$ 기준 화학양론수 1의 경우, 음극 및 양극 기체 확산층의 기공율 0.4와 0.7에 대한 전산해석을 수행하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 전체적으로 기공율이 증가할수록 연료전지의 성능은 향상된다. 특히, 전류밀도가 높은 영역에서의 농도 손실이 감소하여 성능이 향상되는데 이는 기공율이 증가함에 따라 다공성 매질로 이루어진 기체 확산층 내에서의 유효 확산계수가 증가하여 촉매층으로 연료가 효과적으로 전달되기 때문이다. 또한, 음극과 양극 기체 확산층의 기공율 변화를 살펴보면, 음극의 기공율의 변화에 따른 성능의 차이는 거의 미비한 반면, 양극 기체 확산층의 기공율의 증가로 인한 성능 향상은 뚜렷하게 나타난다. 이는 산소의 확산 계수가 수소의 확산 계수보다 훨씬 작아서 산소의 기체 확산층을 통한 전달이 농도손실에 보다 직접적으로 연관되어 있음을 보여준다.

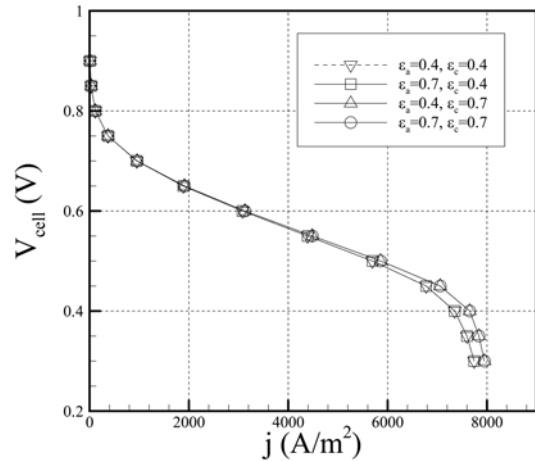


Fig. 8. Polarization curve for different anode and cathode GDL porosity.

4. 결 론

본 연구에서는 고온 PEMFC의 전산해석을 위한 2차원 isothermal 모델을 적용하여 다양한 작동 인자 및 설계 변수가 연료전지 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 기존 문헌의 실험 결과와의 비교를 통해 본 전산해석 모델의 타당성을 확보하였다. 전류 밀도가 낮은 영역에서는 교환 전류밀도가 감소할수록 활성화전압으로 인한 손실이 감소하여 연료전지의 성능이 증가하였으며, 이온전도도가 증가할수록 셀 전압 또한 증가하였다. 동일한 이용률의 조건에서는 산소의 확산 전달현상이 전체 연료전지 성능에 미치는 영향이 크게 됨을 확인하였다. 동일한 연료 공급량의 경우, 높은 작동 압력에서 연료전지의 성능이 향상되었다. 음극과 양극 기체 확산층의 기공율 변화에 따른 연료전지의 성능 변화를 조사한 결과, 음극의 기공율의 변화에 따른 성능의 차이는 거의 미비한 반면, 양극 기체 확산층의 기공율의 증가로 인한 성능 향상은 뚜렷하게 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 한국에너지기술연구원 주요사업 위탁과제 (KIER-B02405)의 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. X. Cheng, Z. Shi, N. Glass, L. Zhang, J. Zhang, D. Song, Z.-S. Liu, H. Wang, and J. Shen, 'A review of PEM hydrogen fuel cell contamination: Impacts, mechanisms, and mitigation', *J. Power Sources*, **165**, 739 (2007).

2. J. Zhang, Z. Xie, J. Zhang, Y. Tang, C. Song, T. Navessin, Z. Shi, D. Song, H. Wang, D. P. Wilkinson, Z.-S. Liu, and S. Holdcroft, 'High temperature PEM fuel cells', *J. Power Sources*, **160**, 872 (2006).
3. O. Savadogo, 'Emerging membranes for electrochemical systems: Part II. High temperature composite membranes for polymer electrolyte fuel cell (PEFC) applications', *J. Power Sources*, **127**, 135 (2004).
4. X. Cheng, J. Zhang, Y. Tang, C. Song, J. Shen, D. Song, and J. Zhang, 'Hydrogen crossover in high-temperature PEM fuel cells', *J. Power Sources*, **167**, 25 (2007).
5. J. Lobato, P. Cañizares, M. A. Rodrigo, J. J. Linares, and G. Manjavacas, 'Synthesis and characterisation of poly[2,2-(m-phenylene)-5,5-benzimidazole] as polymer electrolyte membrane for high temperature PEMFCs', *J. Membrane Sci.*, **280**, 351 (2006).
6. D. F. Cheddle and N. D. H. Munroe, 'Three dimensional modeling of high temperature PEM fuel cells', *J. Power Sources*, **160**, 215 (2006).
7. E. U. Ubong, Z. Shi, and X. Wang, 'Three-Dimensional Modeling and Experimental Study of a High Temperature PBI-Based PEM Fuel Cell', *J. Electrochem. Soc.*, **156**, B1276 (2009).
8. E. L. Cussler, "Diffusion: Mass transfer in fluid systems", Cambridge Univ Press (2009).
9. D. A. Nield and A. Bejan, "Convection in porous media", Springer (1999).
10. M. M. Mench, "Fuel cell engines", Wiley (2008).
11. F. Y. Zhang, X. G. Yang, and C. Y. Wang, 'Liquid water removal from a polymer electrolyte fuel cell', *J. Electrochem. Soc.*, **153**, A225 (2006).