

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.3.317

금속지지체형 고체산화물연료전지와 연료극지지체형 고체산화물연료전지의 물질전달 특성분석[§]

박준근* · 김선영* · 배종면**

* 한국과학기술원 기계공학부

Mass Transfer Analysis of Metal-Supported and Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cells

Joonguen Park*, Sunyoung Kim* and Joongmyeon Bae**

* Dept. of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

(Received August 25, 2009 ; Revised December 16, 2009 ; Accepted December 23, 2009)

Key Words: Metal-Supported SOFC(금속지지체형 고체산화물연료전지), Anode-Supported SOFC(연료극지지체형 고체산화물연료전지), Channel Design(유로설계), Mass Transfer(물질전달), Numerical Analysis(수치해석)

초록: 고체산화물연료전지의 상용화를 위해서 금속지지체형 고체산화물연료전지가 개발되었다. 이 연료전지는 기계적강도를 향상시킨 새로운 개념의 연료전지지만 접합층으로 인해 물질전달률이 감소한다. 본 논문에서는 전산해석을 이용하여 연료극지지체형 고체산화물연료전지와 금속지지체형 고체산화물연료전지의 물질전달율을 비교하고자 한다. 지배방정식, 전기화학반응, 세라믹 물성치 모델이 동시에 해석된다. 그리고 다공성 매질 내부의 물질전달 해석을 위해서 분자확산과 누센확산이 함께 고려된다. 전산해석의 검증을 위해서 실험결과와 해석결과를 비교한다. 금속지지체형 고체산화물 연료전지의 평균 전류밀도가 연료극지지체형 고체산화물연료전지에 비해 약 23% 감소한다. 그러나 접합층으로 인해 금속지지체형 고체산화물연료전지가 더 균일한 전류밀도 분포를 가진다.

Abstract: Metal-supported solid oxide fuel cells (SOFCs) have been developed to commercialize SOFCs. This new type of SOFC has high mechanical strength, but its mass transfer rate may be low due to the presence of a contact layer. In this study, the mass transfer characteristics of an anode-supported SOFC and a metal-supported SOFC are studied by performing numerical simulation. Governing equations, electrochemical reactions, and ceramic physical-property models are determined simultaneously; molecular diffusion and Knudsen diffusion are considered in mass transport analysis of porous media. The experimental results are compared with simulation data to validate the results of numerical simulation. The average current density of the metal-supported SOFC is 23% lower than that of the anode-supported SOFC. However, because of the presence of the contact layer, the metal-supported SOFC has a more uniform distribution than the anode-supported SOFC.

- 기호설명 -

- C : 가스농도
- c_p : 비열(J/kg-K)
- D_p : 입자크기(m)
- $D_{A,eff}$: 유효 확산계수(m^2/s)
- D_{AB} : 분자 확산계수(m^2/s)
- D_{Ak} : 누센 확산계수(m^2/s)
- E_a : 활성화에너지(J/mole)
- F : 패러데이 상수(96485, C/mole)

- $F_{h,j}$: 확산유속(J/m^2-s)
- $F_{m,j}$: 화학종유속(kg/m^2-s)
- h : 엔탈피(J/kg)
- j : 전류밀도(A/m^2)
- j_0 : 교환전류밀도(A/m^2)
- M_A : 분자량(g/mole)
- n_e : 이온개수
- P_0 : 전체압력(bar)
- P_i : 분압(bar)
- R : 가스상수(8.3145, J/mole-K)
- R_p : 저항(Ω/cm^2)
- \hat{r} : 평균공극지름(m)
- S_i : 에너지 선원항(J/m^3-s)

[§] 이 논문은 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 (2009. 11. 4.-6., 용평리조트) 발표논문임

[†] Corresponding Author. jmbae@kaist.ac.kr

S_E	: 운동량 선원항(kg/m ³ -s)
S_S	: 화학종 선원항(kg/m ³ -s)
t	: 전극 및 전해질 두께(m)
T	: 절대온도(K)
u	: 속도(m/s)
V	: 전압(V)
Y_m	: 질량분율

그리스문자

β	: 전하전도계수
γ_0	: 교환전류밀도 상수(A/m ²)
Δg	: 깃스 에너지(J/mole)
Δh	: 엔탈피(J/mole)
Δs	: 엔트로피(J/mole-K)
ξ	: 비틀림도
η_{act}	: 활성화에너지 손실(V)
η_{ohmic}	: 저항 손실(V)
μ	: 점성계수(m ² /s)
ρ	: 밀도(kg/m ³)
σ	: 전기전도도(W/m-K)
σ_0	: 전기전도도 계수(W/m-K)
σ_{AB}	: 충돌지름(m)
τ_{ij}	: 응력텐서(kg/m-s)
X	: 다공도
Ω_{AB}	: 충돌계수

아래첨자

a	: anode
c	: cathode
in	: inlet

1. 서론

연료전지는 연료의 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 에너지변환장치로서 고효율, 친환경, 저소음 등의 장점을 가지고 있다.⁽¹⁾ 다양한 연료전지 중 고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell, SOFC)는 세라믹을 기반으로 만들어지는 고온형 연료전지로서 값비싼 귀금속 촉매를 사용하지 않고 수소 이외의 탄화수소를 연료로 사용할 수 있으며 폐열을 활용할 수 있다는 장점이 있다.⁽²⁾ 그러나 충격에 약한 세라믹 재료의 특성으로 인해 세라믹지지체형 SOFC의 상용화는 어려

움을 겪어왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 타입의 연료전지로서 금속지지체형 SOFC가 개발되었다.⁽³⁾ 금속지지체형 SOFC는 금속과 세라믹을 접합시켜서 강도를 향상시킨 신개념 SOFC로서 국내외에서 활발히 연구되고 있다. 그러나 유로와 연료극 사이에 존재하는 접합층으로 인해 물질전달 저항이 증가하고 이것은 SOFC의 성능 감소로 이어진다. 그러므로 금속지지체형 SOFC 내부의 물질전달에 대한 정확한 이해와 함께 물질전달을 향상시키기 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 전산해석 기법을 이용하여 물질전달 특성을 분석하고자 한다. SOFC는 밀폐형 구조이고 표면에 전류가 흐르기 때문에 내부의 가스조성을 측정하기 어렵다. 또한 유로의 가공 및 SOFC 스택 제작을 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하다. 그러나 전산해석 기법을 이용하면 이러한 문제들을 극복할 수 있다. Hyun 등^(4,5)은 유동해석을 이용하여 SOFC 유로 내부의 물질전달을 분석하였고, Ahn 등⁽⁶⁾은 SOFC 유로 형상이 물질전달 및 성능에 미치는 영향을 분석하였다. Ji 등⁽⁷⁾은 SOFC의 유로형상을 최적화하기 위한 연구를 수행하였고, Bi 등⁽⁸⁾은 SOFC 스택을 위한 유로설계를 연구하였다. 그러나 이상의 연구는 세라믹을 기반으로 한 연료극지지체형 SOFC에 초점이 맞추어져있다. 그러므로 본 연구에서는 금속지지체형 SOFC의 물질전달 특성을 연구하고 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC의 물질전달 특성 차이를 분석하고자 한다.

2. 전산해석 모델

2.1 지배방정식

연료극 및 공기극 유로를 흐르는 반응물의 유동 특성에 따라 온도분포 및 압력분포가 달라지며 이것은 물질전달에 큰 영향을 미친다. 그러므로 정확한 전산해석을 위해서 유동해석이 이루어져야하며 이를 위한 지배방정식은 식 (1)-(4)와 같다. 연속방정식, 운동량보존방정식, 에너지보존방정식, 화학종방정식이 계산되며 이상의 계산을 위해서 상용 소프트웨어인 STAR-CD를 사용한다. 그리고 전기화학반응에 의해 가스조성 및 온도가 달라지기 때문에, 물질의 생성량 및 소모량, 열적발열량을 반영하기 위해서 In-house code를 사용하여 지배방정식의 선원항을 계산한다.

Continuity equation

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

Momentum balance equation

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \quad (2)$$

Energy balance equation

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho h u_j + F_{h,j}) = u_j \frac{\partial p}{\partial x_j} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + S_E \quad (3)$$

Species balance equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_m) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_m + F_{m,j}) = S_s \quad (4)$$

유로를 통해 공급된 반응물은 다공성 매질인 전극을 통과하여 전극 및 전해질의 경계면에 도달한다. 전극 및 전해질의 경계면에 도달한 반응물의 농도에 따라 SOFC의 성능이 달라지므로 다공성 매질 내부의 유동을 정확하게 해석해야 한다. 전극 내부의 압력강하를 예측하기 위해 식 (5)와 같이 Ergun 식을 사용한다.⁽⁹⁾

Ergun equation

$$\frac{dp}{dx_j} = \frac{150\mu(1-\chi)^2 u}{\chi^3 D_p^2} + \frac{1.75\rho(1-\chi)u^2}{\chi^3 D_p} \quad (5)$$

반응물이 전극을 통과할 때 확산이 중요한 이동 매커니즘으로 작용한다. 그리고 확산을 통한 물질이동 계산 시 정확한 확산계수를 사용하는 것이 아주 중요하다. 다공성 매질 내부의 확산은 분자확산과 누선훈산으로 나눌 수 있다.⁽¹⁰⁾ 분자확산은 주로 유로에서 발생하며 식 (6)과 같이 Chapman-Enskog 이론을 통해 계산할 수 있다. 누선훈산은 분자가 다공성 매질을 통과할 때 적용할 수 있으며 식 (7)을 통해 계산할 수 있다. 최종적인 확산계수는 분자확산계수와 누선훈산계수의 조화평균으로 구할 수 있다. 그리고 다공도와 비틀림도의 영향을 고려하여 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_{AB} = 1.853 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2} \frac{T^{3/2}}{p \sigma_{AB}^2 \Omega_{DAB}} \quad (6)$$

$$D_{Ak} = 97.0 \bar{r} \sqrt{\frac{T}{M_A}} \quad (7)$$

$$\frac{1}{D_{A,eff}} = \frac{\xi}{\chi} \left(\frac{1}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{Ak}} \right) \quad (8)$$

2.2 전기화학반응식

SOFC의 전압에 영향을 미치는 다양한 변수들이 존재하지만 가정을 통해 전기화학반응식 계산 모델을 단순화할 수 있다.⁽¹¹⁾ 본 논문에서는 단전지의 전압을 계산하기 위해 식 (9)을 사용한다.

$$V = OCV - \eta_{act} - \eta_{ohmic} \quad (9)$$

식 (9)에서는 농도손실을 계산하는 항이 포함되지 않는다. 농도손실은 유로에서 공급되는 가스의 농도와 전극 및 전해질 경계면에 도달하는 가스의 농도가 달라짐으로 인해 발생하는 손실을 의미한다. 본 논문에서는 식 (5)-(9)와 같이 다공성매질접근법을 통해 전극 및 전해질 경계면에 도달하는 가스의 농도를 계산하고 이를 개회로전압(open circuit voltage, OCV) 계산을 위한 분압으로 사용한다. 그러므로 농도손실에 의한 성능감소의 효과가 OCV 계산 시 반영된다. OCV는 주어진 작동조건에서 얻을 수 있는 이론적인 최대 전압이며 식 (10)을 통해 계산할 수 있다.⁽¹²⁾

$$OCV = \frac{-\Delta \bar{g}_f}{2F} - \frac{RT}{2F} \ln \left(\frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} p_{O_2}^{1/2}} \right) \quad (10)$$

개회로전압 계산 시 가장 중요한 변수는 깁스 에너지(gibbs free energy, Δg)이다. 깁스에너지는 일로 전환할 수 있는 에너지로서 엔탈피(enthalpy, Δh)와 엔트로피(entropy, Δs)의 열역학적 관계식을 이용하여 계산할 수 있다.⁽¹³⁾

활성화 손실(η_{act})은 전극으로 대표되는 전자전도체와 전해질로 대표되는 이온전도체 사이의 전하 교환 시 발생하는 에너지 장벽으로서 식 (11)과 같이 Butler-Volmer 식으로 계산될 수 있다.

Table 1 Operating conditions

	Anode	Cathode	Electrolyte
Material	Ni/YSZ	LSM	8YSZ
Inlet temperature	800°C	800°C	-
Inlet gas concentration	H ₂ 66%, N ₂ 34%	Air	-
Stoichiometry number	1.3	3	-
Voltage		0.7	

$$j = j_0 \left\{ \exp\left(\beta \frac{n_e F \eta_{act}}{RT}\right) - \exp\left[-(1-\beta) \frac{n_e F \eta_{act}}{RT}\right] \right\} \quad (11)$$

그러나 Butler-Volmer 식은 많은 계산량을 필요로 하기 때문에 합리적인 가정을 통해서 식을 단순화할 수 있다. 전기화학반응의 정반응 및 역반응이 동일한 반응성을 가진다고 가정하여 ($\beta = 0.5$) Butler-Volmer 식을 식 (12)와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{act} = \frac{RT}{2n_e F} \ln \left(\frac{j}{2j_0} + \sqrt{\left(\frac{j}{2j_0}\right)^2 + 1} \right) \quad (12)$$

활성화손실 계산결과는 교환전류밀도(exchange current density)의 영향을 크게 받는다. 교환전류밀도는 세라믹 물질에 따라 다양한 값을 가지기 때문에 실제 사용되는 연료극 및 공기극 물질의 교환전류밀도를 사용할 필요가 있다. 본 연구에서는 공기극 물질로서 LSM을 사용하고, 이 물질의 교환전류밀도는 식 (13)으로 계산한다.⁽¹³⁾ 연료극 물질로서는 Ni/YSZ를 사용하며 식 (14)을 통해 교환전류밀도를 계산한다.⁽¹³⁾

$$j_{0,c} = \gamma_{0,c} \left[\frac{P_{O_2}}{P_0} \right]^{-0.25} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (13)$$

$$j_{0,a} = \frac{RT}{nFR_p} \quad (14)$$

전기저항손실은 전자가 전극을 통과하거나 이온이 전해질을 통과할 때 발생하는 전기적 저항이다. 전기저항손실은 전극 및 전해질에서 모두 발생할 수 있지만 전해질을 통과하는 이온으로

인한 저항이 전극을 통과하는 전자로 인한 저항보다 더 크기 때문에⁽¹⁴⁾ 본 논문에서는 이온전도에 의한 전기저항만을 고려한다. 전기저항손실은 식 (15)을 통해 계산할 수 있다. 이온으로 인한 저항 계산 시 이온전도도가 정확하게 계산되어야 한다. 전해질로 사용되는 8YSZ의 이온전도도 계산을 위해서 식 (16)을 이용한다.⁽¹³⁾

$$\eta_{ohmic} = j \cdot t / \sigma \quad (15)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{T} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (16)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 검증

본 연구에 사용된 세라믹 재료는 SOFC를 제작하기 위해 일반적으로 사용되는 재료로서 연료극은 Ni/YSZ, 공기극은 LSM, 전해질은 8YSZ이다. 이러한 재료를 사용하여 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC의 버튼셀을 제작하고 전압-전류밀도 그래프를 측정한다. 측정을 위한 작동조건은 Table 1과 같다. 작동온도 유지를 위하여 800°C의 가스가 연료극 및 공기극으로 공급된다. 공기극에는 대기중의 공기가 공급되며 이용율은 약 50% 이하로 과급된다. SOFC의 경우 공기극과 전해질의 경계면에서 발생하는 전기화학반응속도가 연료극과 전해질의 경계면에서 발생하는 전기화학반응속도에 비해 느린 편이다. 그러므로 반응속도를 높이기 위해 많은 양의 반응물을 공급한다. 또한, SOFC 스택의 경우 발열반응에 의해 열이 축적되면서 지나치게 높은 온도가 나타날 수 있다. 이러한 고온점은 단전지의 손상을 일으킬 수 있기 때문에 과량이 공기를 공급하여 냉각시켜야 한다. 수소에 비해 공기의 가격이 저렴하므로 공기를 과급하는 것이 시스템의 비용증가를 가져오지 않는다. 연료극에는 수소와 함께 질소가 공급된다. 순수 수소만 공급하는 경우 낮은 유량으로 인해 유량 제어 및 가스전달이 어려우므로 전달가스로서 질소를 함께 공급해야 한다. Table 1의 작동조건은 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC 모두 동일하게 적용한다.

Fig. 1은 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC의 실험결과와 해석결과를 나타낸 것이다.

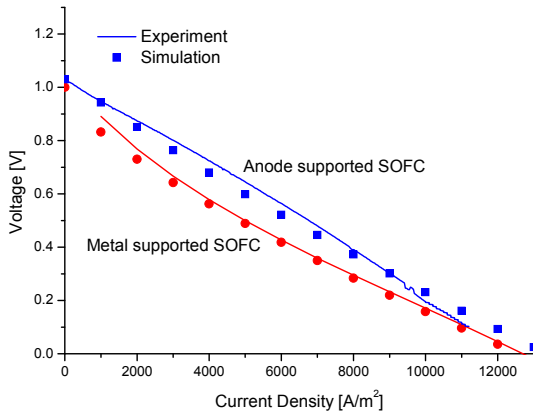


Fig. 1 Comparison between experimental results and simulation data

연료극지지체형 SOFC에 비해 금속지지체형 SOFC가 낮은 성능을 보여준다. 그 이유는 접합층으로 인한 물질전달저항이 크기 때문이며 상세한 고찰은 다음 장에 기술하였다. 실험결과와 해석결과를 비교할 때 전체적으로 유사한 값과 경향성을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 연료극지지체형 SOFC의 경우 전반적으로 시뮬레이션의 전압이 실험결과보다 낮다. 이것은 이온전도도 계산할 때의 오차로 인해 전기저항손실이 크게 계산되었기 때문이라고 생각된다.

3.2 유로 및 금속지지체의 형상

금속지지체형 SOFC는 연료극 유로, 금속지지체, 접합층, 세라믹 셀, 공기극 유로의 순서로 적층된다. 연료극지지체형 SOFC의 경우 금속지지체와 접합층을 제외하고 연료극 유로, 세라믹 셀, 공기극 유로의 순서로 적층된다. 각 구성요소의 형상 및 격자구조는 Fig. 2와 같다. 5×5cm² 단전지를 사용하고 전체적인 유로 형상은 병렬구조(parallel type)이며 교차-역행유동(cross-counter flow)로 설계되었다. 연료극 유로에 공급되는 수소는 좌측 상단에서 우측 하단으로 흘러간다. 공기극에 공급되는 공기는 좌측 하단으로부터 우측 상단으로 흐른다. 유로 입구 및 출구의 경계조건은 Table 2와 같다. 그리고 유로 입구 및 출구를 제외한 영역은 단열조건으로 가정한다. 이상의 경계조건은 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC 모두 동일하게 적용된다.

3.3 전류밀도 분포

Fig. 3은 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형

Table 2 Boundary conditions

Gas channel inlet	$T=T_{in}$	$C=C_{in}$
Gas channel outlet	$\partial T/\partial x=0$	$\partial C/\partial x=0$
Wall	$\partial T/\partial x=0$	$\partial C/\partial x=0$

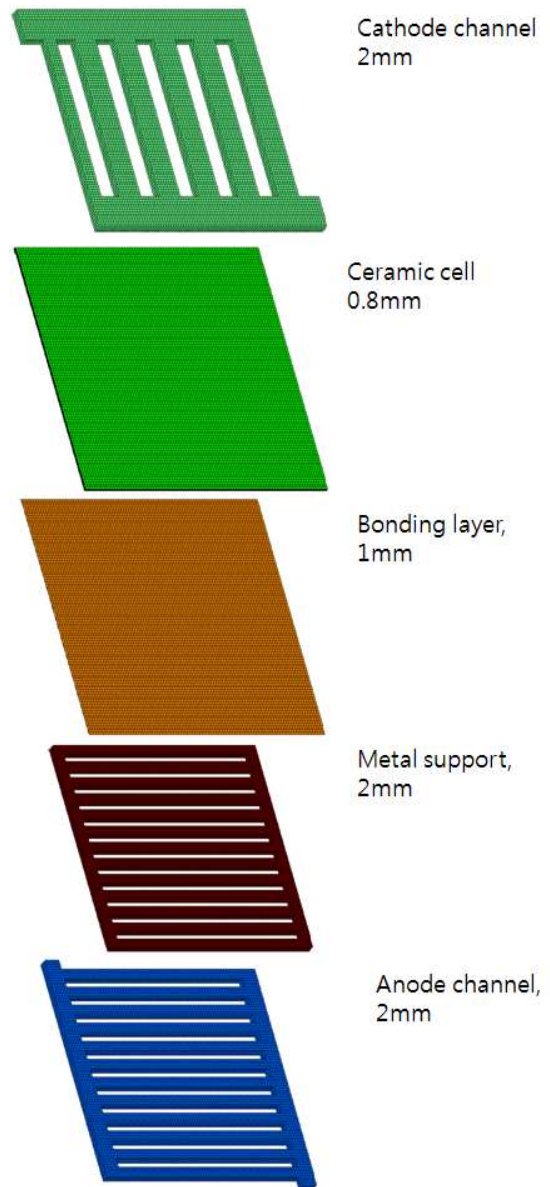


Fig. 2 Components of SOFC cell

SOFC의 전류밀도 분포를 나타낸 것이다. 유로가 지나가는 영역의 전류밀도가 높고 보(rib)가 지나가는 영역의 전류밀도가 낮아진다. 이것은 유로에서 공급된 반응물이 보 아래로 확산되어 가는 과정 중에 반응물의 농도가 낮아지기 때문이다.

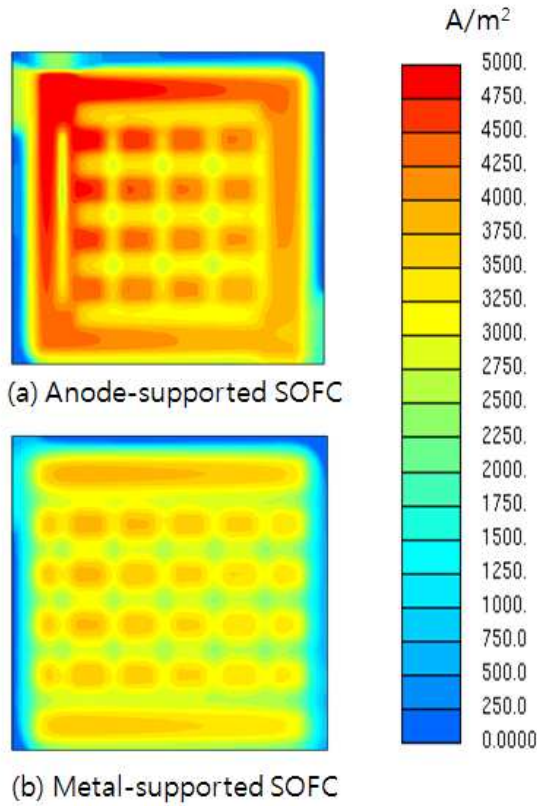


Fig. 3 Current density distribution

특히 셀 가장자리의 경우 물질전달 저항이 가장 큰 영역이기 때문에 전류밀도가 가장 낮은 값을 가진다.

공기가 이용율 50% 이하로 과급되는 것에 비해 수소는 이용율 80% 이상을 유지하면서 상대적으로 적은 양이 공급된다. 공기가 과급되는 이유는 ‘3.1 검증’ 부분에서 설명한 것과 마찬가지로 이유로서 전기화학반응속도의 증가 및 스택의 냉각 때문이다. 공기의 과급으로 인해 공기극의 입구 및 출구 농도변화는 크지 않지만, 수소는 적은 양이 공급되므로 입구 및 출구의 농도변화가 크다. 그러므로 수소 농도의 변화가 전류밀도에 큰 영향을 주기 때문에 수소 입구 근처의 전류밀도가 높아진다.

연료극지지체형 SOFC의 전류밀도가 금속지지체형 SOFC의 전류밀도보다 높은 값을 가진다. 금속지지체형 SOFC의 경우 접합층으로 인한 물질전달 저항이 크기 때문이다. 그러나 연료극지지체형 SOFC의 최대, 최소 전류밀도 차이가 큰 것에 비해 금속지지체형 SOFC의 최대, 최소 전류밀도 차이는 상대적으로 작다는 것을 확인할

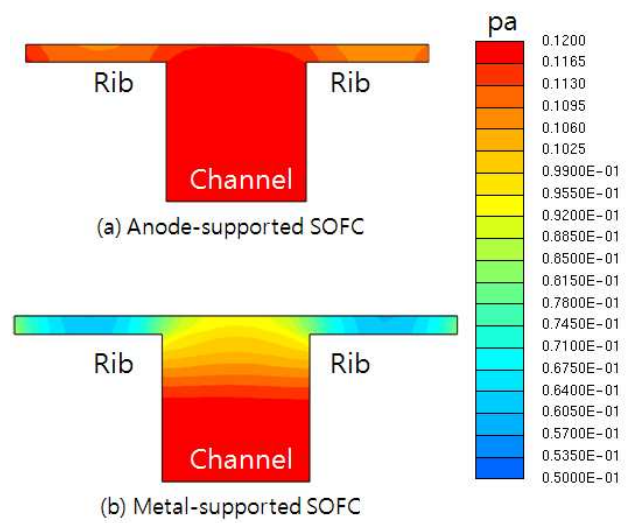


Fig. 4 Hydrogen partial pressure

수 있다. 연료극지지체형 SOFC의 경우 유로 입구에서 많은 양의 수소를 소모하기 때문에 전류밀도가 아주 높고 출구로 갈수록 수소량이 적어져서 전류밀도가 낮아진다. 그러므로 입구근처와 출구근처의 전류밀도가 큰 차이를 보인다. 그러나 금속지지체형 SOFC의 경우 입구근처에서 적게 소비되고 남은 수소가 출구로 이동하기 때문에 입구와 출구의 전류밀도가 큰 값의 차이를 보이지 않는다. 결과적으로 금속지지체형 SOFC가 균일한 전류밀도 분포를 가진다. 전류밀도가 균일하면 단전지의 전 영역에서 발열량이 비슷해진다. 발열량이 비슷하면 열충격으로 인한 단전지의 손상을 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 단전지의 특정 영역이 높은 전류밀도를 가지면 고성능으로 인한 열화현상이 동반되어 나타난다. 국부적인 열화현상은 단전지 전체의 손상으로 확대될 수 있기 때문에 균일한 전류밀도 분포를 가지는 것이 중요한 의미를 지닌다.

Fig. 4는 유로와 보의 단면에서 수소의 분압을 비교한 것이다. 연료극지지체형 SOFC의 경우 채널과 보 위쪽의 수소 분압이 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 금속지지체형 SOFC의 경우 유로의 수소 분압에 비해 보 위쪽의 수소분압이 50% 이상 감소한다. 이러한 결과를 통해서 접합층이 물질전달의 저항체 역할을 한다는 것을 다시 확인할 수 있다.

전류밀도 분포도를 이용하는 경우 정량적인 비교가 어려울 수 있으므로 전류밀도 분포함수를

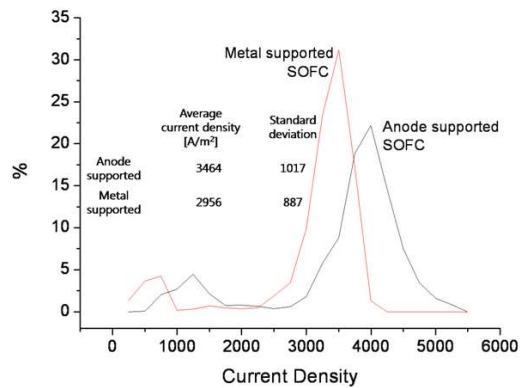


Fig. 5 Current density distribution function

사용한다. 전류밀도 분포함수는 전체 면적에 대해 측정 전류밀도가 존재하는 비율을 나타내는 그래프로서 최대비율을 가지는 지점이 우측으로 이동할수록 평균전류밀도가 높고 그래프가 조밀할수록 균일한 분포를 가진다. Fig. 5에서 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC의 전류밀도 분포함수를 비교한다. 연료극지지체형 SOFC의 평균전류밀도는 3464 A/m²이고 금속지지체형 SOFC의 평균전류밀도는 2956 A/m²으로서 연료극지지체형 SOFC의 평균전류밀도가 약 17% 더 높다. 그러나 연료극지지체형 SOFC의 표준편차가 1017 인 것에 비해 금속지지체형 SOFC의 표준편차는 887 이므로 금속지지체형 SOFC의 전류밀도가 더 균일하다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전산해석 기법을 활용하여 연료극지지체형 SOFC와 금속지지체형 SOFC의 전류밀도 분포와 물질전달률을 비교하였다. 해석결과, 연료극지지체형 SOFC가 금속지지체형 SOFC 보다 높은 전류밀도 값을 가지며 평균전류밀도는 약 17% 높아진다. 그 이유는 금속지지체형 SOFC의 접합층으로 인해 물질전달률이 낮아지기 때문이다. 그러나 금속지지체형 SOFC가 연료극지지체형 SOFC보다 균일한 전류밀도 분포를 가지기 때문에 열충격 감소 및 국부적인 열화현상을 감소시킬 수 있다. 이러한 결과는 전류밀도 분포함수를 이용하여 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사

업과 EU FP 참여활동비 지원사업, 대경광역경제권 선도산업육성사업의 일환이며 KAIST BK21 프로그램의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Bae, J., Lim, S., Jee, H., Kim, J., Yoo, Y.-S. and Lee, T., 2007, "Small Stack Performance of Intermediate Temperature-Operating Solid Oxide Fuel Cells Using Stainless Steel Interconnects and Anode-Supported Single Cell," *J. Power Sources*, Vol. 172, No. 1, pp. 100~107.
- (2) Park, K. and Bae, J., 2008, "Performance Behavior by H₂ and CO as a Fuel in Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell (IT-SOFC)," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 32, No. 12, pp. 963~969.
- (3) Lee, C. and Bae, J., 2007, "Fabrication and Characterization of Metal-Supported Solid Oxide Fuel Cells," *J. Power Sources*, Vol. 176, No. 1, pp. 62~69.
- (4) Hyun, H.-C., Sohn, J.L., Lee, J.S. and Ro, S.T., 2003, "Performance Predictions of the Planar-Type Solid Oxide Fuel Cell with Computational Flow Analysis (I) -Isothermal Model-," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 27, No. 5, pp. 635~643.
- (5) Hyun, H.-C., Sohn, J.L., Lee, J.S. and Ro, S.T., 2003, "Performance Predictions of the Planar-Type Solid Oxide Fuel Cell with Computational Flow Analysis (II) -Non-Isothermal Model-," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 27, No. 7, pp. 963~972.
- (6) Ahn, H.-J. and Cha, S.-W., 2007, "Performance and Thermal-Flow Characteristics in a Planar Type Solid Oxide Fuel Cell with Single Channel and Multi-Channel," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 31, No. 12, pp. 1033~1041.
- (7) Ji, Y., Yuan, K., Chung, J.N. and Chen, Y.-C., 2006, "Effects of Transport Scale on Heat/Mass Transfer and Performance Optimization for Solid Oxide Fuel Cells," *J. Power Sources*, Vol. 161, No. 1, pp. 380~391.
- (8) Bi, W., Chen, D. and Lin, Z., 2009, "A Key Geometric Parameter for the Flow Uniformity in Planar Solid Oxide Fuel Cell Stacks," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 9, pp. 3873~3884.

- (9) Niven, R.K., 2002, "Physical Insight into the Ergun and Wen and Yu Equations for Fluid Flow in Packed and Fluidised Beds," *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 57, No. 3, pp. 527~534.
- (10) Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N., 2002, *Transport Phenomena*, 2nd ed., WILEY, New York, pp. 513~538.
- (11) Larminie, J. and Dicks, A., 2003, *Fuel Cell Systems Explained*, 2nd ed., WILEY, New York, pp. 45~60.
- (12) O'Hayre, R., Cha, S.-W., Colella, W. and Prinz, F.B., 2006, *Fuel Cell Fundamentals*, WILEY, New York, pp.23~58.
- (13) Park, J., Kim, S. and Bae, J., 2010, "Numerical Modeling of Physical Property and Electrochemical Reaction for Solid Oxide Fuel Cells," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 34, No. 2, pp. 1~7.
- (14) Sundén, B. and Faghri, M., 2005, *Transport Phenomena in Fuel Cells*, 1st ed., WIT press, Boston, pp. 1~30.