

저온 평판형 고체산화물 연료전지 내부 열 및 물질전달 현상에 대한 전산해석

정 희석¹⁾, 차 훈²⁾, 손 정락³⁾, 노 승탁⁴⁾

Computational Analysis of Heat and Mass Transfer in a Planar-type Solid Oxide Fuel Cell

Hee Seok Jeong, Hoon Cha, Jeong Lak Sohn, Sung Tack Ro

Key words : Solid Oxide Fuel Cell(고체산화물 연료전지), Computational Analysis(전산해석), Current Density and Temperature Distribution(전류밀도 및 온도 분포), Transport Phenomena(전달현상), Heat Generation(열생성)

Abstract : The performance prediction of a planar-type solid oxide fuel cell is conducted by a computational analysis. The transport processes are formulated with the help of a simplified treatment of heat generation by the electrochemical reaction. From the result of the computational analysis, it is shown that the electrochemical reaction is closely related to the transport phenomena inside a solid oxide fuel cell. Transport phenomena including heat and mass transfer have influence on the distribution of local current density and, as a result, on the performance characteristics of the fuel cell. Computational analysis is also extended to the parametric study to investigate the performance behavior of the fuel cell with different amount of supplied fuel flow rates. It is also demonstrated that the mathematical formulation and computational procedures proposed in this study can be applied to prove the importance of the specific TPB(Three-Phase-Boundary) area in the manufacturing process of electrodes in a solid oxide fuel cell.

Nomenclature

a_c	specific TBP area [m^2/m^3]
A_c	activation area [m^2]
F	Faraday constant
H	enthalpy [J]
I	current [A]
i	current density [A/m^2]
j	specific current [A/m^3]
M	molecular weight [kg/kmol]
n	molar flow rate [kmol/s]
P	pressure [Pa]
Q	heat generation [W]
r	area-specific electric resistance [m^2]
R	electric resistance [Ω] or gas constant [J/K]
S	entropy [J/K]
T	temperature [K]
V_c	cell voltage [V]
V_{oc}	open-circuit voltage [V]
W	power [J]

x	x-axis
y	y-axis
z	z-axis
η	activation voltage loss [V]
ω	specific mass generation [kg/m^3s]

subscript

a, c	: anode, cathode
e	: electrolyte
fc, ac	: fuel channel, air channel
FC	: fuel cell

1. 서론

-
- 1) 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail : suk96@snu.ac.kr
Tel : (02)880-1646 Fax : (02)-883-0179
 - 2) 서울대학교 기계항공공학부 대학원
 - 3) 서울대학교 기계항공공학부 교수
 - 4) 서울대학교 기계항공공학부 교수

수백 도 이상의 고온에서 작동하는 고체 산화물 연료전지는 고분자 전해질 연료전지 등의 저온형에 비해서 효율이 높을 뿐만 아니라 내부 개질 반응이 가능하여 수소 이외의 탄화수소 등 다양한 연료의 사용이 가능하다. 또한 저온형 연료전지와는 달리 고가의 촉매 사용이 필요가 없으며, 전기화학 반응에서 발생하는 액체 상태의 물을 처리하기 위한 특수 설비가 필요 없어 시스템을 비교적 단순하게 구성할 수 있다. 그럼에도 불구하고 고체 산화물 연료전지는 고온 작동 특성으로 인하여 초기 시동 시간이 매우 길고, 구성 소재의 특성상 고온 작동 상태에서의 기계적 취약성 때문에 내구성 확보가 어려운 단점이 있다¹⁾. 최근 들어서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 전 세계적으로 고체 산화물 연료전지의 작동 온도를 낮추기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 특히, 낮은 작동 온도에서도 높은 효율을 유지할 수 있는 구성 소재의 개발에 관심이 집중되어 있다²⁾.

연료전지의 성능은 연료전지 내부에서의 열 및 물질전달을 포함한 이동현상(transport phenomena)의 특성과 밀접한 관계가 있다. 특히 고체 산화물 연료전지의 경우에는 고온 작동으로 인하여 전극 내부에서의 전기화학 반응에 의해 생성되는 열의 전달 특성이 물질전달과 밀접한 관련이 있고, 궁극적으로 연료전지의 성능에 영향을 미치는 중요한 요인이 된다. 이와 같은 연료전지 내부에서의 열 및 물질전달을 포함한 이동 현상이 연료전지의 성능에 미치는 영향을 자세하게 고찰하기 위해서는 전기화학 반응이 포함된 열 유동 현상에 대한 전산해석 기술의 적용이 필요하다. 전산해석 기술을 연료전지와 관련된 문제에 적용하기 위한 연구는 Wang³⁾의 논문에서 조사된 바와 같이 비교적 최근에 들어 널리 진행되고 있으나, 대부분 고분자 전해질 연료전지와 같은 저온형 연료전지에 집중되고 있다.

본 연구에서는 평판형 고체 산화물 연료전지 내부에서의 열 유동 특성과 관련된 선행 연구^{5,6)}의 후속 연구로써, 전극내부에서의 전기화학 반응에 의해 생성된 열을 단순하게 처리할 수 있는 모델을 제안하여 이를 전산해석 과정에 적용시켰다. 선행 연구^{5,6)}에서는 전산해석 영역을 연료 및 공기 공급 유로내부로 국한시켰으며, 이를 위하여 전극 및 전해질 영역에서 생성되는 열을 유로와 전극의 접촉면에서의 경계조건으로 처리하였다. 이 모델은 복잡한 물리적 현상이 발생하는 전극 및 전해질을 전산해석 영역으로부터 배제시킴으로써 계산 과정을 단순화시킬 수 있었으나 3차원 문제에 있어서 연결자(interconnector)에서의 비 유로 영역과 접촉된 전극에서의 물리적 현상을 반영하는 데는 한계가 있음을 발

견하였다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해서 전극 및 전해질 내부에서의 전기화학 반응과 열 및 물질 전달 현상을 반영할 수 있는 새로운 모델을 개발하여 고체 산화물 연료전지 내부의 열 유동 특성 고찰을 위한 전산해석 과정에 반영하였다.

2. 물리적 특성 및 수학적 모델링

2.1 전기화학 반응특성

평판형 고체 산화물 연료전지의 단위 전지(unit cell)는 Fig. 1과 같이 5개 영역으로 구분된다. 먼저 분리판(interconnector)은 전극(electrode) 및 전해질(electrolyte)에서의 전기화학 반응에 의해서 생성된 전자의 흐름을 유도하는 전기 전도체의 역할을 함과 동시에 전극에 연료 및 공기를 공급하고 생성 물질을 배출하기 위한 유로가 설치된 곳이다.

분리판에 설치된 유로를 통하여 공급되는 연료와 공기는 유로의 바닥면에 해당하는 다공성 물질인 전극의 기공(gas pore)으로 스며들게 되며, 전극 내부에서의 이온 전도체와 전자 전도체의 혼합체인 고체 입자와의 경계면인 삼상계면(TPB: Three-Phase Boundary)에서 전기 화학 반응이 일어나게 된다. 수소를 연료로 사용하는 고체 산화물 연료전지 전극 내부 삼상계면에서의 전기 화학 반응은 다음과 같다.

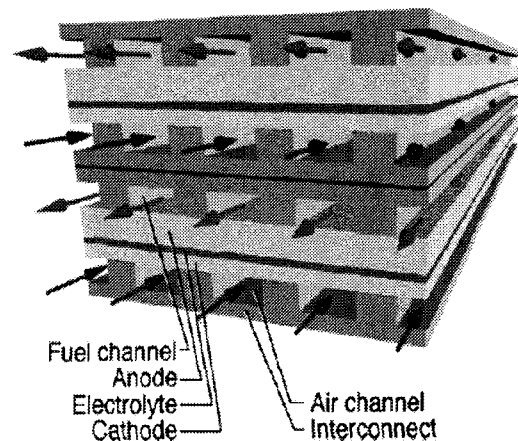
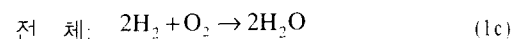
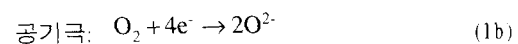
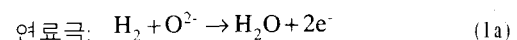


Fig. 1 Schematics of a planar-type solid oxide fuel cell stack



위의 반응에서와 같이 연료극의 삼상계면에서 생성된 전자(e^-)는 연료극 내부의 전자 전도체를 따라 분리판을 통하여 인접 단위 전지의 공기극으로 이동하게 된다. 반면에 공기극의 삼상계면에서 생성된 이온(O^{2-})은 공기극 내부의 이온 전도체를 따라 전해질을 통하여 연료극으로 이동하게 된다. 여기서 전해질이란 전자의 이동은 차단하고 이온의 이동만을 허용하는 역할을 함을 알 수 있다. 연료극의 삼상계면에서 생성된 물은 연료극 기공을 통하여 연료극 분리판 유로로 배출된다.

2.2 물질전달 특성

연료전지 내부에서의 전기화학 반응을 지배하는 가장 중요한 변수는 공급 연료(수소)의 소모량이며, 이는 아래와 같이 삼상계면의 단위 면적당 전자의 이동 유량에 해당하는 전류밀도에 비례한다.

$$\Delta i_{H_2} = -\frac{i}{2F} A_c \quad (2)$$

여기서, A_c 는 전기화학 반응이 일어나는 삼상계면의 면적이다. 위의 관계로부터 전극의 단위체적당 소모되거나 감소되는 물질의 질량은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\text{연료극: } \dot{\omega}_{H_2} = -\frac{j}{2F} M_{H_2}, \dot{\omega}_{H_2O} = \frac{j}{2F} M_{H_2O} \quad (3a, b)$$

$$\text{공기극: } \dot{\omega}_{O_2} = -\frac{j}{4F} M_{O_2} \quad (3c)$$

위의 식에서 j 는 전극의 단위 체적당 전류를 의미하며, 전류밀도와 관계는 아래와 같다.

$$j = a_c i \quad (4)$$

여기서 a_c 는 전극의 단위체적당 전기화학 반응이 일어나는 삼상계면의 비를 의미하며, 이 값이 클수록 전기화학 반응이 활발함을 알 수 있다.

2.3 열전달 특성

고온에서 작동하는 고체 산화물 연료전지의 경우 연료전지 내부에서의 온도 분포 특성이 성능에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나이다. 특히 세라믹 소재로 구성된 전극 및 전해질을 포함한 각 구성부는 작동 온도에 따라 기계적, 전기적 성질이 달라지며, 각 구성부 간의 열팽창계수의 차이는 고온 환경에서의 내구성을 저하 시키는 원인이 되기도 한다.

연료전지에서의 전기화학 반응으로 인하여 생성되는 열은 아래와 같이 (1) 전기화학 반응 과정 중의 엔트로피 변화량의 함수로 표시되는 가역 생성열과 (2) 전기화학 반응의 활성화(activation)에 의해서 생성되는 열과 전자 및 이온의 이동에 따른 Joule 열 등에 의한 비가역 생성열의 합으로 나타낼 수 있으며, 이는 또한 공급 연료의 발열량과 생성 전력(셀 전압(V_c))과 전류(I)의 곱의 차이를 의미한다.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{rev} + \dot{Q}_{irr} = -\Delta \dot{H}_f^0 - \dot{W}_{fc} \quad (5)$$

여기서,

$$\dot{Q}_{rev} = -T \Delta \dot{S} \quad (6a)$$

$$\dot{Q}_{irr} = \eta I + (R_p + R_o) I^2 \quad (6b)$$

위의 식에서 가역 생성열과 비가역 생성열 중 전기화학 반응 활성화에 의한 생성열은 두 전극 내부에서의 삼상계면에서 발생하는 열이다. 반면에, 또 다른 비가역 생성열에 해당하는 Joule 열은 전극과 전해질에서의 이온의 이동 및 전극과 분리판에서의 전자의 이동에 따라 발생된다. 이와 같이 전기화학 반응에 의해서 생성된 열은 연료전지 모든 부위에서의 열 및 물질전달 과정에 영향을 미치게 되며, 궁극적으로는 연료전지의 성능 특성 및 내구성에 영향을 미치게 된다.

3. 전산해석 방법 및 계산 절차

3.1 전산해석 방법

평판형 고체 산화물 연료전지 내부에서의 열 유동 특성을 고찰하기 위해서는 앞장에서 기술한 전기화학 반응에 따른 열 및 물질전달 특성을 고려한 이송 현상에 대한 전산해석을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 유한 체적법을 기반으로 하는 유동해석 전용 상용 프로그램인 CFD-ACE+를 기본으로 활용하였으며, 전기화학 반응과 관련된 별도의 module을 만들어 이에 접목시켰다.

3.2 전기화학 반응 생성열의 처리기법

연료전지 내부에서의 전기화학 반응에 의한 생성열을 구하기 위해서는 각 해당 영역에서 식(6)을 정확하게 계산할 수 있어야 한다. 그러나 이를 위해서는 가역 생성열의 경우 각 전극에서 전기화학 반응에 따른 이온 및 전자의 이송 엔트로피(transport entropy)값을 정의하기가 용이하지가 않고, 비가역

생성열의 경우에도 전극 내부에서의 전위장(electric potential field)에 대한 정확한 이해와 전기화학 반응의 활성화 에너지를 정확히 구하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 복잡한 계산 과정을 단순화하기 위하여 평판형 고체 산화물 연료전지의 경우 전기화학 반응과 관련된 전극 및 전해질의 두께가 다른 영역에 비하여 매우 얇다는 점에 착안하여 전기화학 반응에 의해 생성된 열이 전해질과 연료극, 공기극의 접하는 얇은 체적 내에서 발생한다고 가정하였다. 이때의 생성열은 식(5)으로부터 구할 수 있으며, 여기에 필요한 셀 전압은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$V_C = V_{OC} - r_{cell}i \quad (7)$$

여기서, 개방회로 전압인 V_{OC} 는 온도 및 화학 반응 물질의 분압의 함수로 표현되는 Gibbs 에너지 차의 함수로부터 구할 수 있다.

$$V_{oc} = -\frac{\Delta G^0}{2F} + \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{P_{H_2} / P^0 (P_{O_2} / P^0)^{1/2}}{P_{H_2O} / P^0} \right] \quad (8)$$

그리고 면적 비저항(area-specific resistance)과 전류밀도의 곱인 r_{cell} 은 전기화학 반응에 의한 활성화 전압손실과 전기적 저항에 의한 전압손실(ohmic loss) 등 연료전지 내부에서의 각종 전압손실의 합을 의미한다. 면적 비저항 값을 구하기 위해서는 여러 가지의 실험적 모델을 사용할 수 있겠으나 본 연구에서는 아래와 같이 Yakabe 등⁽⁷⁾이 기 보유하고 있던 평판형 고체 산화물 연료전지로부터 실험적으로 구한 성능 특성 곡선인 V-I curve로부터 구한 식을 사용하였다.

$$r_{cell} = \left(\frac{T}{-34 + 1.25 \times 10^6 \exp(-7185/T)} + 0.04 \right) \times 10^{-4} \quad (9)$$

4. 결과 분석 및 고찰

4.1 단위전지 형상 및 작동 조건

본 연구에서 고찰하고자 하는 고체 산화물 연료전지의 기본 단위전지(reference unit cell)는 Fig. 2(a)에 서와 같이 가로와 세로의 길이가 50mm로 동일한 정방형 평판형으로써 연료와 공기를 공급하기 위한 단면적이 1mm x 1mm인 미세유로 12개가 각 전극에 인접한 두 개의 연결자 상에 균일한 간격으로 가공되어 있다. 기본 단위전지는 동일한 성능 특성을 가진 여러 개의 단위전지의 적층으로 구성된 연료전지 스택의 중앙부에 위치하고 있다고 가정하여 인접 단

위전지의 영향으로 윗면과 아랫면에서 외부로의 열 방출이 없다고 가정하였다.

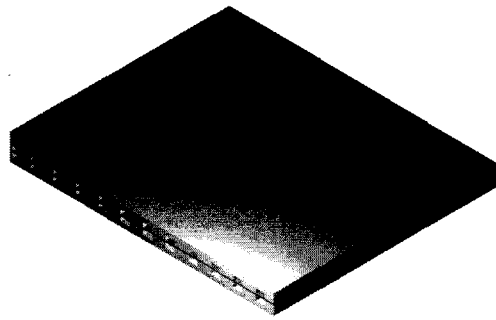
평판형 연료전지의 특성상 연료 및 공기 공급유로가 동일한 크기로 반복적으로 위치해 있기 때문에 모서리 영역이 아닌 단위전지의 중앙부에

Table 1. Dimensions and material characteristics of components of the reference unit cell

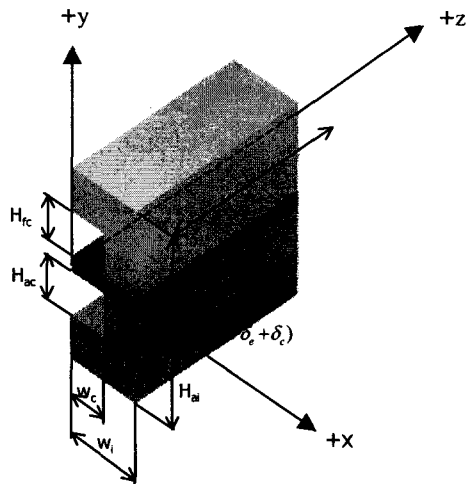
Part name	Dimension(mm)		material
Interconnector (Anode)	H _{fi}	2.0	LaCrO3
	H _{fc}	1.0	
	W _i	2.0	
Anode	δ _a	0.1	Ni/YSZ
Electrolyte	δ _e	0.1	YSZ
Cathode	δ _c	0.15	LSM/YSZ
Interconnector (Cathode)	H _{ac}	1.0	LaCrO3
	H _{ai}	2.0	
	W _i	2.0	
Fuel flow channel (Anode)	H _{fc}	1.0	N/A
	W _c	1.0	
Air flow channel (Cathode)	H _{ac}	1.0	N/A
	W _c	1.0	

Table 2 Inlet conditions of flow channels of the reference unit cell

Channel	Values	
Fuel flow Channel	Flow rate	1000 m ³ /s
	Temperature	923 K
	Mass Fraction	0.7(H ₂) 0.3(H ₂ O)
Air flow Channel	Flow rate	3000 m ³ /s
	Temperature	923 K
	Mass Fraction	0.233(O ₂) 0.767(N ₂)



(a) Reference unit cell



(b) Computational domain

Fig. 2 Reference unit cell and computational domain

치한 유로 주변에서의 물리적 특성은 유사하다고 가정할 수 있다. 이러한 가정 하에 본 연구에서 채택한 전산해석 영역은 Fig. 2(b)에서와 같이 단위전지의 중앙부에 위치한 유로의 중앙 수직 단면 ($x=0.0\text{mm}$)으로부터 유로와 유로 사이 연결자의 중앙 수직 단면($x=2.0\text{mm}$)까지의 영역과 유로 길이 방향으로 구성된 3차원 직육면체로 설정하였으며, 각 부위의 형상 수치와 소재특성은 Table 1과 같다. 기본 단위전지의 전산 해석 영역에서의 유로 입구 조건은 Table 2와 같으며, 셀 전압은 0.7V 이고 각 전극에서의 삼상계면 비 면적인 a_c 는 $8 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 으로 설정하였다. 또한 연료와 공기는 동일한 온도로 동일한 방향의 평행류(parallel flow)로 공급되고, 공급 연료는 수소와 수증기의 혼합물, 공급 공기는 질소와 산소의 혼합물로 가정하였다.

전산해석을 위한 격자 수는 길이방향 100개, 폭 방향 12개, 높이 방향 46개이며, 전체 영역에서의 격자 수는 55,200에 해당된다.

Table 3 Inlet condition of flow channel of the Yakabe's model

	Co-flow	Counter-flow
Fuel Velocity	0.4 m/s	0.4 m/s
Fuel Temperature	1273 K	1273 K
Air Velocity	3 m/s	3 m/s
Air Temperature	1173 K	1123 K
Channel length	100 mm	100 mm

Table 4 Results of Yakabe and SNU-model

	Yakabe		SNU-model	
	Co-	Counter-	Co-	Counter-
Fuel	CH ₄		H ₂	
Maximum Temperature (K)	1352	1488	1383	1423
Averaged Current Density (A/m ²)	3860	3980	4660	5326
Fuel utilization (%)	77	79	80.33	73.44

4.2 전산해석 결과의 검증

우선 전산 해석 결과의 타당성을 검증하기 위하여 Yakabe의 계산 결과와 비교를 하였다. Yakabe의 계산 조건 Table 3과 같으며 같은 조건으로 본 연구에 사용한 전산 해석 모델에 적용하였다. Table 4에서 볼 수 있듯이 Yakabe의 전산해석 결과와 본 연구에 사용한 전산 해석 모델의 결과 값은 약간의 차이를 보이는데 이것은 각각의 모델이 적용한 생성열에 대한 기법의 차이와 화학 반응의 적용 기법 등의 차이에 의해 발생하는 것으로 보인다. 또한 Yakabe의 경우 연료로서 메탄을 사용하여 연료전지의 화학 반응에서 메탄의 개질 반응이 첨가되며 이러한 개질 반응이 전류 밀도와 연료전지 작동 온도에 영향을 끼쳐 결과 값의 차이를 가져온 것으로 판단된다. 그와 더불어 계산에 사용된 연결자와 연료극, 공기극 그리고 전해질의 열전도 계수의 값 또한 다른 것도 결과 값에 영향을 미쳤을 것이다. 하지만 이러한 결과 값의 차이가 미미하고 같은 경향을 보이며 물리적인 특성에 부합되는 결과를 가져 본 연구에 사용된 전산 해석 모델의 결과 값이 타당성을 가진다고 판단된다.

4.3 기준 작동 조건의 전산해석 결과

다음으로 Figures 4-6은 기본 단위전지의 기본 작동 조건(Table 2)에서의 Co-flow의 전산해석 결과를 보여주고 있다. 유로 길이방향 중앙 단면에서의 구성 물질의 질량 분율 분포를 나타내는 Fig. 4를 보면, 유로 길이 방향의 하류로 갈수록 수소와 산소의 질량 분율은 감소하는 반면, 물(수증기)은 증가함을 알 수 있다. 또한 유로 내

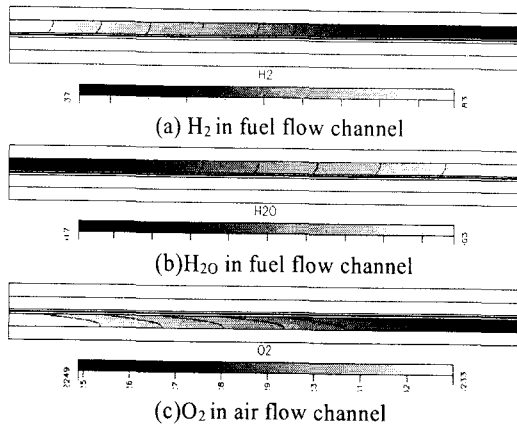


Fig.4 Distributions of mass fractions of gas compositions in flow channels of the reference unit cell (vertical plane at $x=0.0\text{mm}$)

Figure 5는 기본 단위전지의 전산해석을 통하여 구하여진 온도를 전산해석 영역 표면에서 가시화 시킨 것인데, 전반적으로 유로 길이 방향의 하류로 갈수록 온도가 증가함을 알 수 있다. 이는 연료전지 내부에서의 전기화학 반응으로 생성된 열이 유로 내부에서의 작동유체의 유동에 따른 대류 열전달 효과 때문이다. 또한 유로의 길이 방향의 z 축 위치에 따른 네 가지 수직 단면에서의 온도 분포(Fig. 6)를 보면, 모든 단면에서 전기화학 반응이 일어나는 전극 및 전해질 부분($-0.2\text{mm} < y < +0.15\text{mm}$)이 온도가 가장 높음을 알 수 있다. 그리고, 유로 중앙 단면($x = 0.0\text{mm}$)에서는 작동 유체의 유동이 온도에 미치는 영향을 관찰할 수 있는데, 그 중에서도 연료 유로 영역 ($+0.15\text{mm} < y < +1.15\text{mm}$)보다는 공기 유로 영역 ($-1.2\text{mm} < y < -0.2\text{mm}$)에서의 영향이 더 큼을 알 수 있다. 이는 Table 2에서와 같이 공기 공급 유로로 공급된 공기의 유량이 연료 공급 유로로 공급된 연료의 유량보다 상대적으로 더 크기 때문에 과잉 공기 공급에 의한 냉각효과 때문으로 볼 수 있다. 그리고, 두 유로 영역에서는 모두 연결자와 인접한 방향으로 온도가 증가되는데 이는 전극 및 전해질에서 전기화학 반응에 의하여 생성된 열이 유로 영역을 거치지 않고 열전도에 의하여 전극과 인접한 연결자로 전달되기 때문이다. 또한 유로 길이방향 하류로 갈수록 온도가 증가함을 알 수 있다. 특히 연료극에 비하여 공기극 연결자에서의 온도가 더 낮는데, 이는 앞서 기술한 바와 같은 공기극 유로에서의 과잉 공기에 의한 냉각 효과에 의한 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안된 단순화된 전기화학 반응 처리 기법을 전산해석 과정에 적용하려면 국부 전류밀도 (local current density)는 전기화학 반응이 일어나는 전극 및 전해질 내부에서 수직방향(y 방향)으로는

일정하다고 가정하여야 한다. 보다 엄밀하게는 국부 전류밀도는 전극내부에서의 삼상계면의 해당 위치에서 단위면적 당 전기화학 반응에 따른 수소의 소모량으로 정의되어야 하지만 전극과 전해질의 두께가 다른 부위의 형상 수치에 비하여 매우 작은 값이므로 이러한 가정을 타당하게 적용할 수가 있다. 전해질 중앙 수평

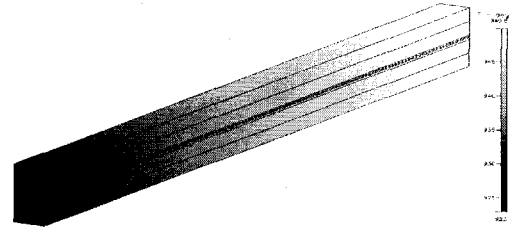


Fig.5 Temperature distributions on the surface of the computational domain

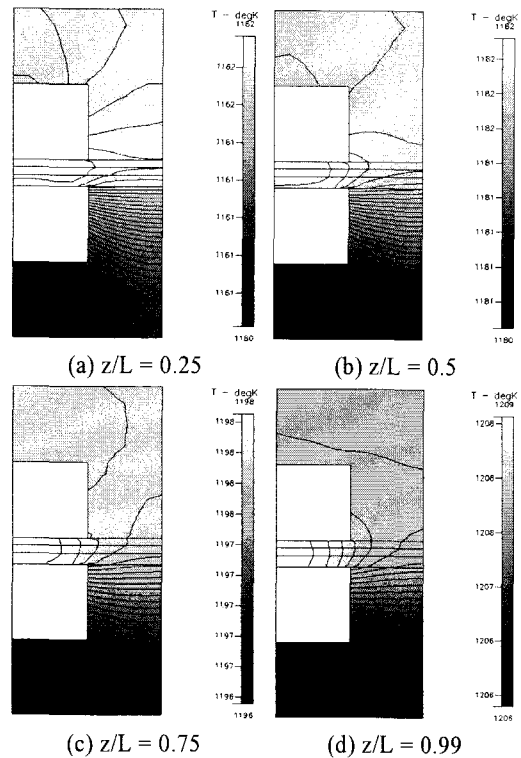
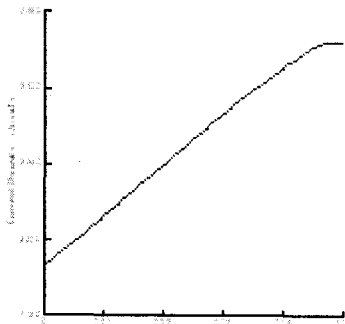


Fig.6 Temperature distributions in solid parts of the reference unit cell at various cross-sections along the longitudinal direction



(a) On the horizontal plane at y=0.0mm



(b) Along the longitudinal direction
(at x=0.0mm, y=0.0mm)

Fig.7 Distributions of the local current density of the reference unit cell

단면에서 국부 전류밀도의 분포는 Fig. 7과 같다. Figure 7(a)에서 전류밀도는 유로와 접한 영역(그림의 윗부분)이 연결자와 접한 영역(그림의 아랫부분)에 비하여 높음을 알 수 있는데, 이는 전기화학 반응에 참여하는 물질들이 유로 영역으로부터 유로와 인접한 전극 면을 통하여 전극 내부로 전달된 후 전극 내부의 기공을 통하여 다른 영역으로 확산되어 가기 때문이다. 유로 길이 방향 하류로 갈수록 수평 단면의 직각 방향으로 전류밀도의 구배가 매우 커지는데 이는 유로 내부에서의 작동 유체의 유동에 의한 열 및 물질전달이 전류밀도에 미치는 영향 때문일 것으로 판단된다. 그리고, 전류밀도가 Fig. 7(b)에서와 같이 유로의 길이 방향으로 증가한다. 그러나 후에 언급하겠지만 작동온도가 높아지거나 삼상 계면의 면적이 커지게 되면 전류 밀도가 증가하다가 하류 영역에서는 감소하게 되는데, 이는 이 영역에서의 수소 및 산소의 분율의 감소에 따른 개방회로 전압의 감소 때문임을 미리 밝혀둔다.

이상의 계산 결과로부터 구한 기본 단위전지의 기본 작동조건에서의 평균 전류밀도는 약 2229A/m²이 공급된 연료 중 전기화학 반응에 소모된 연료량의 비로 정의되는 연료 이용률(Fuel utilization factor)은 5.58%로 예측되었다.

5. 결론

고체 산화물 연료전지의 성능특성을 해석적으로 고찰하기 위해서는 연료전지 내부에서의 전기화학 반응을 동반한 이송 현상의 물리적 특성을 수학적으로 표현하고, 이를 전산 해석 기술을 적용하여 처리

할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 평판형 고체 산화물 연료전지 내부에서의 전기 화학 반응에 의한 생성열과 관련된 복잡한 물리적 현상을 단순하게 처리할 수 있는 기법을 도출하여 열 유동 해석 전용 상용 프로그램에 접목시켜 전산 해석을 수행한 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

기본 작동조건에서의 단위전지에 전산해석 기술을 적용시킨 결과, 연료전지 내부의 전기화학 반응 및 그에 따른 물질전달 및 온도분포 특성을 합리적으로 예측할 수 있음을 확인하였다. 또한, 단위전지 내부에서의 각 구성부의 특성에 따라 국부적인 이동현상 특성을 고찰할 수 있었으며, 그 결과들이 연료전지의 성능 특성과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] Singal, S.C. and Kendall, K., 2003. High Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications, Elsevier Ltd.
- [2] Brandon, N., 2004. "Development of metal supported solid oxide fuel cells operating at 500-600C", Proceedings of the International Workshop on Fuel Cell and Fuel Cell Hybrid Systems, 15 - 20
- [3] Wang, C.-Y., 2004. "Fundamental models for fuel cell engineering", Chemical Reviews, 104, 4727-4766
- [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 analysis:(I) Isothermal model (in Korean)", KSME Journal(B), 27, 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 analysis:(II) Non-isothermal model(in Korean)", KSME Journal (B), 27, 963-972
- [6] Yakabe, H., Ogiwara, T., Hishinuma, M., Yasuda, I., 2001. "3-D model calculation for planar SOFC", Journal of power source, 102, 144-154