

고온형 고분자 전해질 연료전지 스택 내부의 냉각판 수가 스택에 미치는 열 영향성의 수치적 연구

최병욱 · 주현철[†]
인하대학교 기계공학과

Analysis of Thermal Effect by Coolant Plate Number in High-Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stack

BYUNG WOOK CHOI, HYUN CHUL JU[†]

School of Mechanical Engineering, Inha Univ. 253, Yonghyun-dong, Nam-gu, Incheon, 402-751, Korea

Abstract >> High-Temperature Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (HT-PEMFC) with phosphoric acid-doped polybenzimidazole (PBI) membrane has high power density because of high operating temperature from 100 to 200°C. In fuel cell stack, heat is generated by electrochemical reaction and high operating temperature makes a lot of heat. This heat is cause of durability and performance decrease about stack. For these reasons, heat management is important in HT-PEMFC. So, we developed HT-PEMFC model and study heat flow in HT-PEMFC stack. In this study, we placed coolant plate number per cell number ratio as variable and analysed heat flow distribution in stack.

Key words : HT-PEMFC(고온형 고분자전해질연료전지), Coolant channel(냉각채널), Temperature distribution(온도분포), Stack(스택)

Nomenclature

A : area, m²

C : molar concentration, mol/m³

c_p : specific heat, J/Kg·K

F : faraday's constant, 96487 C/mol

h : enthalpy, kJ/kg

I : current density, A/m²

k : thermal conductivity, W·m/K

p : pressure, Pa

\dot{Q} : heat, W

T : temperature, K

\vec{u} : velocity vector, m/s

U₀ : thermodynamic

equilibrium potential, V

V_{cell} : cell potential, V

v : anode channel

inlet velocity, m/s

ρ : density, kg/m³

τ : viscous stress, N/m²

ξ : stoichiometry of channel

[†]Corresponding author : hcju@inha.ac.kr

Received : 2015.01.02 in revised form : 2015.03.30 Accepted : 2015.04.30

Copyright © 2015 KHNES

Subscripts

0	: standard condition
a	: anode
c	: cathode
CH	: channel
cool	: coolant
in	: channel inlet
mem	: membrane
H ₂	: hydrogen
O ₂	: oxygen
P	: pressure
rev	: reversible
irrev	: irreversible

1. 서 론

연료전지는 전기화학반응을 통해 화학에너지를 전기에너지로 전환시켜주는 장치다. 연료전지는 높은 에너지효율을 얻을 수 있으며 오염물질을 거의 만들지 않는 장점이 있으며 또한 배터리와는 다르게 연료가 공급된다면 연속적으로 에너지를 생성할 수 있는 차이점을 가지고 있다. 연료전지는 전해질의 종류 및 작동 온도에 따라 여러 종류가 있다. 사용되는 전해질의 종류 중 고체 고분자 중합체 전해질 막을 사용하는 고분자전해질연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC)는 높은 출력 밀도, 빠른 시동 성능과 운전·정지 특성을 나타낸다. 이와 같은 특징으로 인하여 고분자전해질연료전지는 소형 및 수송용 장비의 에너지 공급에 적합하다.

고분자전해질연료전지는 또한 작동온도에 따라 저온형과 고온형으로 분류가 된다. 저온형 고분자전해질연료전지(Low-Temperature PEMFC, LT-PEMFC)는 전해질 막으로 나피온을 사용하며 나피온은 가습 조건에서 높은 이온전도도로 인해 고성능을 나타낸다. 하지만 높은 이온전도도를 유지하기 위해 작동온

도가 물의 끓는점인 100°C 이하가 되도록 유지해야 하며 전해질 막의 탈수를 방지하기 위해 수분이 공급되어야 한다. 뿐만 아니라 촉매층에서 발생하는 플러딩 현상과 일산화탄소에 의한 피독현상이 연료전지의 성능을 하락시키는 원인이 된다.

고온형고분자전해질연료전지(High Temperature-PEMFC, HT-PEMFC)는 LT-PEMFC의 단점을 해결하기 위해 연구되었다. 고온의 작동조건에서 전해질 막의 탈수화에 의한 이온전도도 감소를 극복하기 위해 인삼염이 도핑된 폴리벤지미다졸(Polybenzimidazole, PBI) 전해질 막을 사용하였으며 다음과 같은 장점을 가진다.

1. 작동온도가 높기 때문에 물질전달 저항이 감소하며 전기화학 반응속도 증가로 인하여 활성화 손실이 감소된다.
2. 공기극에서 산소환원반응에 의해 생성된 물은 고온의 작동조건으로 인해 증발되므로 플러딩 현상이 방지되어 물질전달이 원활하게 이루어진다.
3. 낮은 온도의 작동조건일 경우 보다 일산화탄소에 의한 촉매층의 피독 내성이 증가한다.
4. 연료의 개질을 위한 개질기 시스템, 스택의 저온 유지를 위한 냉각시스템, 전해질 막의 탈수를 방지하기 위한 가습시스템의 간소화로 인해 시스템의 구조가 단순해진다.

HT-PEMFC는 높은 작동온도로 인해 위와 같은 장점들과 고효율의 에너지를 생산하지만 만약 운전 중 전기화학 반응에 의해 발생한 열이 적절히 제거되지 않는다면 시스템 내부에서 열이 점차 축적되어 시스템 자체의 온도가 증가하게 된다. 시스템의 온도가 높아지면 시스템 내 스택을 구성하는 구성요소에 기계적인 파손 등에 의한 내구도 감소가 발생하며 또한 파손에 의한 전도도감소 등 성능저하를

초래하게 된다. 따라서 온도증가에 의한 성능저하 현상 및 내구도감소를 최소화하기 위해 HT-PEMFC 시스템 내부의 열 배출 및 분산을 위한 냉각시스템을 고려해야 한다.

Purushothama¹⁾ 등은 냉각채널의 유량을 다르게 하여 3차원 비등온 HT-PEMFC 모델의 열적 거동을 분석하였다. 냉각효과에 따른 시스템의 온도와 전류밀도 분포 등을 비교 분석하였고 냉각효과의 크기와 그에 따른 스택온도 감소로 인한 성능하락을 상대적으로 비교하여 연구하였다. 송태원²⁾ 등은 HT-PEMFC의 온도 균일화를 위하여 스택 내부에 냉각채널을 추가 및 분리시켜 냉각매체가 하나의 이동 경로를 통하여 흐르게 하는 냉각판을 제조하여 실험하였다. 스택의 중앙부분 냉각판으로 냉각매체를 공급시켜 열을 회수한 후에 상대적으로 온도가 낮은 스택의 가장자리 냉각판에 재공급시켜주어 스택 내부 온도를 균일하게 만들어주었다. 1kW 모사 스택에 적용한 결과 온도 균일성 및 기동 시간 단축의 효과를 얻었다. 이상훈³⁾ 등은 스택 내 온도분포의 변화를 관찰하여 플래딩 현상을 예측하는 하고자 하였다. 이를 위해 100cm²의 반응면적을 갖는 실제 연료전지시스템을 구동하여 분리판 내 온도분포의 변화를 관찰하는 연구를 수행하였다. 연구 수행 결과 플래딩 현상을 예측할 수는 없었지만 온도분포와 저항손실, 농도손실 등과의 관계를 확인하여 스택 내 온도분포의 중요성을 언급하였다. 김보성⁴⁾ 등은 연료전지 스택 내의 냉각채널의 성능평가를 위해 항온조와 액체펌프, 열전대, 차압계 등으로 구성된 실험 장치를 제작하여 냉각수의 유량, 온도와 압력강하에 대한 실험을 진행하였다. 이를 통하여 연료전지 스택 냉각을 위한 최적의 형상을 가진 냉각판 채널을 선정하고자 하였다. 김윤호⁵⁾ 등은 상용 3차원 전산해석코드를 이용하여 연료전지 스택 내의 단위전지와 냉각판 적층비율 변화에 따른 냉각판의 성능 분석을 수행하였다. 그 결과 냉각효과를 증가시키기 위한 냉각판 적층비율과

그에 따른 스택의 동력손실을 비교하여 연구하였다.

본 연구에서 HT-PEMFC의 연료극에 유입되는 가스는 70% 수소가 포함된 연료를 사용하였으며 공기극으로 유입되는 가스는 공기를 사용하였다. 유입되는 가스들을 일정한 유량으로 공급하여 전산모사를 진행하였다. 또한 냉각매체로는 물을 사용하였고 스택 내에서 발생하는 열만큼 냉각유체가 열을 배출할 수 있도록 냉각유체의 입구속도를 계산하였다. 스택의 구성에 있어서 셀 개수와 냉각판 개수비율에 따른 냉각효과를 분석하기 위해 2개의 반쪽 냉각판 사이에 셀의 개수가 각각 3개, 4개, 5개인 형상을 각각 만들어 전산모사를 진행하였다. 본 3개의 스택형상을 사용하여 스택 내 셀 개수와 냉각판 개수 비율과 전기화학반응에 의한 생성열과의 관계를 스택 내부 온도구배를 통해 비교분석하였다.

2. HT-PEMFC 열유동 해석 모델

2.1 모델 시뮬레이션

본 연구에서는 HT-PEMFC 스택의 열유동 특성을 연구하기 위해 ANSYS 전산유체 패키지를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이션 계산시 해에 대한 정확도 향상을 위해 잔차(Residual)는 10⁻⁹ 이하가 되도록 반복 계산을 하였다. 또한 격자 의존성 테스트(Mesh Dependency Test)를 통해 각각의 형상에 대한 최적 격자수(각각 60,000개, 78,000개, 96,000개)를 모델에 적용하였다.

2.2 모델 가정

모델에 적용된 가정은 다음과 같다.

- (1) 작은 압력구배와 낮은 유동속도로 인해 비압축성 및 층류유동을 형성한다.
- (2) PBI 전해질 막은 모든 가스에 대해 불침투성

을 가진다.

- (3) 전기화학반응은 공기극에서 느린 속도를 가지므로 발생하는 열은 공기극 촉매층이 지배적이다.

본 연구에서 사용된 모델은 질량(mass), 모멘텀(momentum), 열에너지(thermal energy)의 보존법칙에 의해 표현될 수 있다. 지배방정식들을 정리하면 다음과 같다.

질량 보존식 :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \tag{1}$$

모멘텀 보존식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{u}) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau \tag{2}$$

에너지 보존식 :

$$\nabla \cdot (\vec{u} \rho h) = \nabla \cdot (k \nabla T) \tag{3}$$

$$h = \int_{T_{ref}}^T C_p dT \tag{4}$$

2.4 모델 기하학 형상

모델에 대한 스택 기하학 형상은 Fig. 1과 같다. 스택의 두께방향에 대한 국소부분과 수평방향에 대한 단면도이며 두께방향의 경우 냉각판(Coolant Plate, CP) 사이에 각각 셀의 개수가 3개, 4개 또는 5개가 적층된 경우에 대하여 가상모델을 제작하였다. 각각의 셀은 연료극 분리판과 공기극 분리판 사이에 전해질 막과 촉매층으로 이루어진 촉매 코팅 막(Catalyst Coated Membrane, CCM)과 함께 가스 확산층(Gas Diffusion Layer, GDL)이 적층된 구조이다. 사용된 채널의 형상은 단순 직선채널이다. 여러 개의 셀의 적층 및 분리판 내 여러 개의 채널이 포함된 스택형상을 구현하기 위해 형상의 둘레에는 대칭 조건을

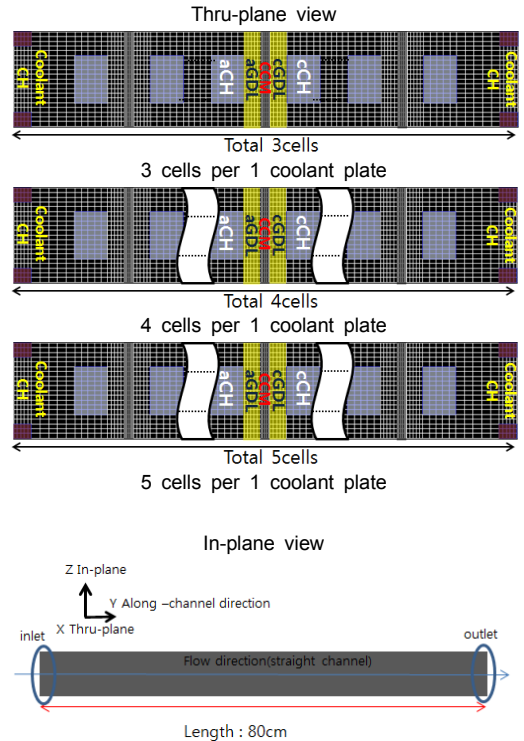


Fig. 1 Stack configuration

Table 1 Properties

Description	value
Specific heat capacities GDL, CL, MEM, BP	568, 3300, 1650, 2930 J/kg·K
Specific heat capacities anode, cathode, coolant	10413.6, 1018.27, 2415 J/kg·K
Thermal conductivities GDL, CL, MEM, BP	1.2, 1.5, 0.95, 20 W/m·K
Thermal conductivities anode, cathode, coolant	0.151, 0.029, 0.252 W/m·K
Density anode, cathode, coolant	0.42, 1.24, 1111.4 kg/m ³
Viscosity anode, cathode, coolant	1.2946×10 ⁻⁵ , 2.0709×10 ⁻⁵ , 1.57×10 ⁻² kg/m·s

주었다. Table 1에는 모델의 물성치를 표기하였으며 Table 2에는 형상의 치수들과 작동조건을 표기하였다. 연료극에는 연료가, 공기극에는 공기가 각각 유입된다. 냉각유체 냉각효과를 높이기 위해 열전달계수가 높은 물을 냉각매체로 사용하였다.

Table 2 Cell dimensions, operating conditions

Description	value
Cell length	0.8 m
Anode, cathode channel/rib width	$1 \times 10^{-3} / 1 \times 10^{-3}$ m
Anode, cathode channel height	0.7×10^{-3} m
Coolant channel/rib width	$0.3 \times 10^{-3} / 1.4 \times 10^{-3}$ m
Coolant channel height	0.375×10^{-3} m
Thickness of the anode, cathode GDLs	0.35×10^{-3} m
Thickness of the anode, cathode CLs	0.05×10^{-3} m
Thickness of the membrane	0.1×10^{-3} m
Anode, cathode inlet pressure	1 atm
Anode stoichiometry	1.2
Cathode stoichiometry	2.0
Anode, cathode inlet temperature	433 K
RH of the anode, cathode inlet	0 %

2.5 경계 조건

연료극과 공기극의 가스 입구 속도는 다음 식을 통해 계산할 수 있다.

$$v_{a,in} = \xi_a \frac{I \cdot A_{mem}}{2F} \frac{1}{C_{H_2,in} \cdot A_{a,in}} \quad (5)$$

$$v_{c,in} = \xi_c \frac{I \cdot A_{mem}}{4F} \frac{1}{C_{O_2,in} \cdot A_{c,in}} \quad (6)$$

스택내부의 한 셀 당 발생하는 열에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$U_0 = 1.1669 - 0.24 \times 10^{-3} (T - 373.15) \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{rev} = -T \cdot \frac{dU_0}{dT} \cdot I \cdot A_{mem} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{irrev} = (U_0 - V_{cell}) \cdot I \cdot A_{mem} \quad (9)$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{rev} + \dot{Q}_{irrev} \quad (10)$$

계산식 (10)을 이용하여 구한 열은 스택 내 공기극 촉매층에서 발생하도록 모델링하였다. 발생한 열을 배출하기 위한 냉각채널의 입구 속도는 냉각채널 입출구 온도차와 식 (10)을 통한 열과의 관계를 통해 다음과 같이 계산된다.

$$v_{cool,in} = \frac{\dot{Q}}{\rho_{cool} \cdot A_{cool,in} \cdot C_{p,cool} \cdot \Delta T} \quad (11)$$

앞서 제시한 가정은 실제 연료전지의 전기화학반응을 모사하기 위함이며 따라서 실제 모델에 대한 현상이기도 하다. 또한 위의 (5)~(11)에 대한 발열량 그리고 채널입구 유량값은 이론적 계산이기 때문에 스택의 사이즈가 커질수록 그만큼 실제 모델의 열량 값과 차이가 날 수 있으나 본 가상모델은 스택 내 국소부분(냉각판 사이 셀이 3개, 4개 또는 5개)에 대하여 이론값을 가상모델에 적용하였기 때문에 그만큼 실제모델과에 대한 차이를 감소시켰다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 정의한 실험 Case들은 Table 3에 표기하였다. 정의한 Case들의 전류밀도와 전압값은 Qingfeng⁶⁾등의 실험 data를 참고하였다. Case 2는 Case 1을 기준으로 냉각채널의 입출구 온도차이를 변경하여 냉각효과크기가 다른 경우에 대해 비교하기 위하여 정의하였으며 Case 3은 Case 1을 기준으로 전류밀도 및 전압이 다른 경우에 대해 비교하기 위해 정의하였다.

Table 4는 시뮬레이션 모델에 경계조건으로 사용된 채널의 입구속도 및 셀 당 발생하는 열의 값이다.

Table 3 Simulation Cases

	Case 1	Case 2	Case 3
Voltage	0.6 V	0.6 V	0.4 V
Current density	3800 A·m ⁻²	3800 A·m ⁻²	8200 A·m ⁻²
Coolant ΔT	10 K	50 K	10 K

Table 4 Calculated Q, inlet velocity (anode, cathode, coolant CH)

	Case 1	Case 2	Case 3
Inlet velocity (anode/cathode)	2.74/ 7.61 m/s	2.74/ 7.61 m/s	5.91/ 16.43 m/s
Coolant inlet velocity (3cell/4cell/5cell)	0.807/ 1.076/ 1.345 m/s	0.161/ 0.215/ 0.269 m/s	2.396/ 3.195/ 3.994 m/s
\dot{Q}	3.25 W	3.25 W	9.65 W

연료극 입구채널의 속도와 공기극 입구채널의 속도는 각각 식 (5), (6)을 이용하여 계산하였으며 발생하는 열과 냉각채널의 입구속도는 각각 식 (10), (11)을 이용하여 계산하였다. Fig. 2, 3은 스택과 전해질 막의 온도분포그림이다.

Fig. 2 (a)는 채널의 입구부터 출구까지의 스택 형상을 채널방향(y축)으로 4등분하여 200mm 구간마다 in-plane(x, y축)방향으로 자른 스택 단면과 함께 냉각채널의 온도분포 그림을 나타내었다. Fig. 2 (b)는 스택 내 각각의 셀의 중심에 위치한 전해질 막에서 Thru-plane 방향(x축)으로 자른 중심 단면을 보여주는 온도분포 그림이다.

Fig. 2는 Case 1의 경우 냉각판 대비 셀의 수가 각각 3, 4, 5셀이 적층된 경우의 스택 및 전해질 막 중심단면에서의 온도분포를 나타내는 그림이다. Fig. 2 (a), (b)에서 유량이 흐르는 방향(y축)으로 스택과 전해질 막의 온도가 점차 증가함을 확인할 수 있다. 이는 연료와 공기 및 냉각매체가 채널입구로부터 유입되어 출구까지 흐르면서 촉매층에서 발생하는 열을 흡수하기 때문이다. 또한 냉각판 대비 셀의 적층 개수가 3개에서 5개로 증가할수록 스택 또는 전해질 막 중심단면에서의 최고 온도가 증가함을 확인할 수

있다. 각 셀에서 발생하는 열은 전류밀도 또는 전압에 의해 영향을 받는다. 이때 스택 내부 셀의 개수가 점차 누적되면 그만큼 셀 개수에 비례해서 총 열이 증가하는데 이와 같은 이유 때문에 냉각판 대비 셀의 개수가 5개인 경우 가장 높은 온도가 발한다. 또 다른 현상으로 특정 셀이 적층된 온도구배 그림에서 스택의 중심 또는 스택 내 중심 셀에 위치한 전해질 막은 주위보다 높은 온도를 보이며 냉각채널 쪽으로 가까워질수록 낮은 온도를 확인할 수 있다. 스택 내부 각 셀 당 생성되는 열을 동일하지만 냉각매체가 냉각채널을 흐르면서 스택 내부 열을 외부로 배출한다. 이때 냉각채널과 멀리 떨어질수록 그 만큼 열을 외부로 배출하기가 힘들어지므로 냉각채널과 가까운 지점에서는 낮은 온도를 확인할 수 있고 냉각채널과 멀리 떨어진 스택 중심에서는 높은 온도를 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 냉각판 대비 셀의 적층 개수가 3셀, 4셀, 5셀에서 모두 확인 가능하다.

Fig. 3은 냉각판 사이에 5개의 셀이 적층된 형상에서 Case 1, 2, 3의 경우 스택과 전해질 막의 온도분포를 비교한 그림이다. Fig. 2와는 다르게 온도분포에 영향을 주는 스택 내부 열의 크기 및 냉각효과에 차이에 대한 온도분포를 분석하기 위하여 스택 내 냉각판 개수를 고정 (냉각판 대비 셀의 개수 고정) 하여 Case별로 비교분석하였다. Case 2는 Case 1과 같은 전류밀도 및 전압을 가지기 때문에 같은 양의 열을 생성하지만 냉각채널의 입출구 온도차이를 50K로 두어서 냉각효과를 다르게 하였다. Fig. 3의 Case 1과 Case 2를 비교해보면 스택 내에서 온도 최대값과 최소값의 차이를 통해 스택 온도구배 크기는 Case 2가 Case 1보다 더 크게 형성이 됨을 확인할 수 있다. 이는 냉각채널의 입출구 온도차이에 의한 냉각효과가 다르기 때문이며 온도구배 크기는 그림과 같이 Case 2가 Case 1보다 더 크게 형성이 된다. 같은 맥락으로 Case 3과 Case 1의 온도분포를 비교해보면 Case 3이 더 높은 온도구배가 나타남을 확인할 수

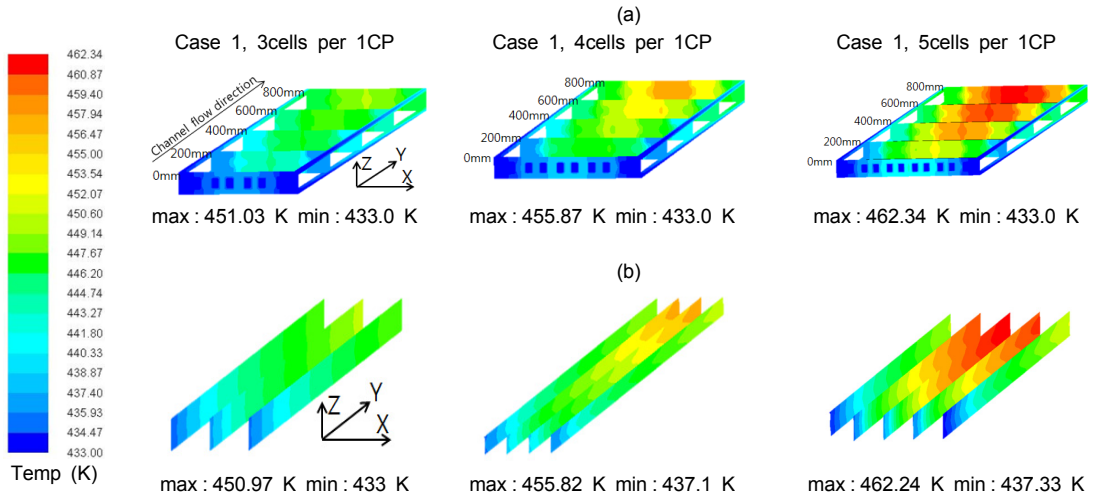


Fig. 2 Case 1 : Temperature contour at middle surface (a) Stack along flow direction, (b) Membranes at each cells

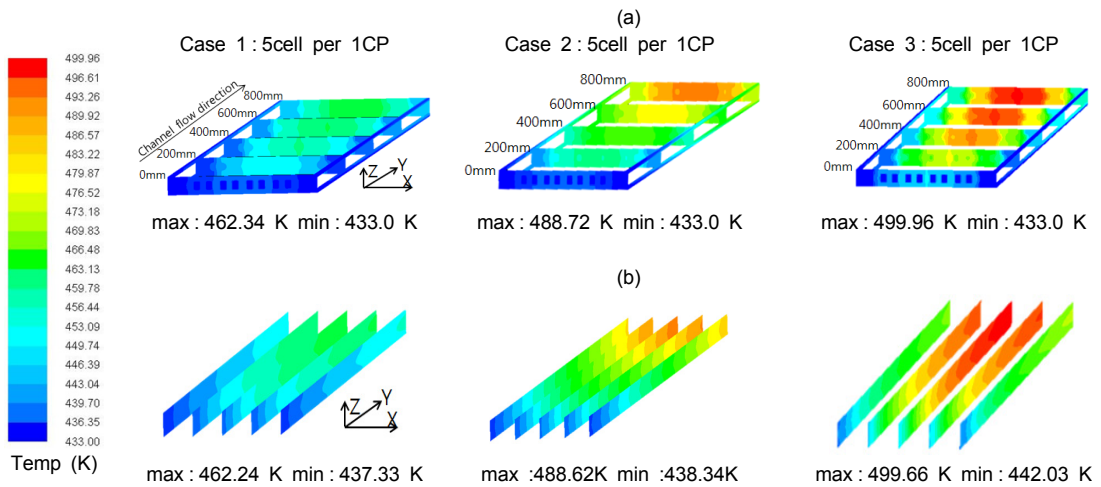


Fig. 3 Case 1, 2, 3 : Temperature contour at middle surface (a) Stack along flow direction, (b) Membranes at each cells

다. Case 1과 Case 3은 냉각채널의 입출구 온도 차이는 같으나 Case 3이 더 높은 전류밀도 값을 갖는 경우이다. 따라서 Case 3에서 더 많은 열이 발생하여 Case 3이 Case 1보다 더 높은 온도구배현상이 생긴다.

4. 결 론

본 연구는 HT-PEMFC 스택에 대한 열분포현상을 분석하기 위해 스택에 대한 단순화모형을 개발하여

분석하였다. 모델 형상은 분리판, MEA, 냉각판이 적층되어있는 스택 구조이며 채널은 단순직선 형태이다. 전기화학반응을 통해 생성되는 열은 공기극 촉매층에서 발생하도록 하여 실제 연료전지 작동 시 스택 내부 열구배 현상과 유사하도록 모델을 개발하여 전산모사를 진행하였다. 연료전지 작동 시 발생하는 열은 스택 내부 냉각효과가 충분하지 않거나 적층된 셀의 개수가 증가하게 되면 높은 값의 열이 누적되므로 스택의 성능 및 내구도 손실 등의 문제점이 발

생한다. 따라서 스택 내부 효율적인 열관리를 위하여 스택에서 생성되는 열의 크기와 냉각효과를 열관리에 대한 변수로 하여 Case별로 스택 내 열분포를 비교분석하였다. 본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 각 셀 당 발생하는 열의 크기는 같지만 냉각채널에 근접한 셀은 낮은 온도구배가 확인되었다. 이를 통해 냉각채널에 가까운 셀일수록 효율적인 열관리가 이루어짐을 알 수 있다. 마찬가지로 스택 내에서 냉각관과 거리가 먼 중심위치에 적층된 셀은 높은 온도구배가 확인되었다. 이를 통해 스택 내 중심에 위치한 셀은 원활한 열배출이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 결과적으로 스택의 중심에 위치한 셀의 높은 온도구배에 대한 영향으로 스택의 전체적인 온도 불균일성이 발생하여 효율적인 열관리의 필요성을 확인 가능하다.
- 2) 스택 내 온도 구배현상은 적층된 셀의 개수가 많아질수록 더 커지게 된다. Fig. 2 (b)를 통해 전해질 막의 온도구배는 냉각관 대비 셀의 개수가 3개일 때 17.97K를 확인할 수 있지만 냉각관 대비 셀의 개수가 5개일 때 24.91K가 확인되었다. 따라서 같은 조건(전류밀도 또는 냉각채널의 입출구 온도차이)일지라도 적층된 셀의 개수가 증가하면 냉각채널에서 멀어지는 셀의 개수가 증가하므로 더 많은 열이 발생하게 되어 효율적인 열관리의 필요성을 확인 가능하다.
- 3) Fig. 3 (b)를 통해 전해질 막의 온도구배는 Case 1일 때 24.91K이며 Case 3일 때 57.63K이므로 Case 3의 경우 더 높은 온도구배현상을 확인하였다. 따라서 스택의 셀 개수가 같거나 스택 내에서 냉각채널과 떨어진 거리가 같은 셀이라도 생성하는 에너지(전류밀도 또는 전압) 또는 냉

각효과(냉각채널의 입출구 온도 차이)가 다르다면 발생하는 열의 크기도 다르므로 발생하는 에너지 및 냉각효과의 크기를 고려하여 효율적인 열관리가 이루어지도록 스택을 설계해야 한다.

후 기

본 연구는 한국가스공사연구개발원과 함께 연구하여 신재생에너지기술개발사업을 위해 수행되었습니다.

References

1. C. Purushothama, and H. C. Ju, "Three-dimensional non-isothermal modeling of a phosphoric acid-doped polybenzimidazole (PBI) membrane fuel cell", *Solid State Ionics*, Vol. 225, 2012, p. 15-39.
2. T. W. Song, J. S. Yi, J. R. Kim, J. S. Ko and K. H. Choi, "Method of Improving the Temperature Distribution of High- Temperature PEMFC stack", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2012, pp. 32-33.
3. S. H. Lee, W. H. Pyen, D. H. Rhee and H. H. Cho, "An Investigation on Temperature Variation of Cathode Bipolar Plate for Proton Exchange Membrane Fuel Cell", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2006, pp. 25-30.
4. B. S. Kim, Y. T. Lee, Y. H. Jang, Y. C. Kim and J. M. Choi, "An experimental study on the performance of cooling channels for the fuel cell stack", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2007, pp. 165-170.
5. Y. H. Kim, K. J. Lee, Y. C. Kim and J. M. Choi, "Numerical Analysis on the Performance of Cooling-Plate for Fuel Cell Stack with a Variation of Unit Cell Layer", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 2006, pp. 19-24.

6. L. Qingfeng, H.A. Hjuler, N.J. Bjerrum, "Phosphoric acid doped polybenzimidazole membranes: Physiochemical characterization and fuel cell applications", *Journal of Applied Electrochemistry*, 2001, pp. 773-779.
7. S. M. Lee, Y. H. Lee, K. K. Ahn and S. S. Yu, "Performance Analysis of Off-Gas/Syngas Combustor for Thermal Management of High Temperature Fuel Cell System", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 2010, pp. 193-200.