

## 수동공기공급형 고분자 전해질 연료전지 스택에서의 냉각특성에 대한 전산해석 연구<sup>§</sup>

이재혁\* · 김보성\* · 이용택\*\* · 김용찬\*<sup>†</sup>

\* 고려대학교 기계공학부

### Numerical Study on the Cooling Characteristics of a Passive-Type PEMFC Stack

Jaehyuk Lee\*, Bosung Kim\*, Yongtaek Lee\* and Yongchan Kim\*<sup>†</sup>

\*\* Dept. of Mechanical Engineering, Korea Univ.

(Received December 31, 2009 ; Revised June 22, 2010 ; Accepted June 26, 2010)

**Key Words:** PEMFC(고분자 전해질 연료전지), Passive Type Fuel Cell(수동공기공급형 연료전지), Temperature Distribution(온도분포), Air Flow Rate(공기유량), Channel Configuration(채널 형상)

**초록:** 수동공기공급형 고분자 전해질 연료전지는 팬을 이용하여 주변의 공기를 스택에 공급한다. 공급된 공기는 연료로 쓰이는 동시에 스택의 냉각에도 사용된다. 이러한 방식은 시스템에서 가습기, 공기 압축기, 냉각수 설비를 제거할 수 있어서 시스템을 단순화 시키고 경량화 시킬 수 있는 반면 냉각성능은 기존의 냉각수를 이용하는 방식에 비하여 떨어진다. 따라서 시스템의 신뢰성 확보를 위하여 최적의 냉각성능을 낼 수 있도록 스택을 설계하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 고분자 전해질 연료전지 스택의 냉각성능 향상을 위하여 다양한 채널 형상, 공기극의 유량분포, 외부 대류열전달계수의 변화가 스택의 온도분포에 미치는 영향에 대한 전산해석을 수행하였다. 그 결과, 채널의 rib이 두꺼운 경우에 냉각성능이 가장 뛰어났으며 유량을 중앙부에 집중시킨 경우에 고온집중 현상이 감소하였다.

**Abstract:** In a passive-type PEMFC stack, axial fans operate to supply both oxidant and coolant to cathode side of the stack. It is possible to make a simple system because the passive-type PEMFC stack does not require additional cooling equipment. However, the performance of a cooling system in which water is used as a coolant is better than that of the air-cooling system. To ensure system reliability, it is essential to make cooling system effective by adopting an optimal stack design. In this study, a numerical investigation has been carried out to identify an optimum cooling strategy. Various channel configurations were applied to the test section. The passive-type PEMFC was tested by varying airflow rate distribution at the cathode side and external heat transfer coefficient of the stack. The best cooling performance was achieved when a channel with thick ribs was used, and the overheating at the center of the stack was reduced when a case in which airflow was concentrated at the middle of the stack was used.

- 기호설명 -

Q : 열전달량(W)

q<sub>int</sub> : 내부 열발생량(W/cm<sup>2</sup>)

R<sub>th</sub> : 열저항 (°C/W)

I : 스택전류 (A)

V : 스택전압 (V)

J : 전류밀도 (A/cm<sup>2</sup>)

h : 열전달계수 (W/m<sup>2</sup>K)

T : 온도(K)

λ : 화학양론비

### 1. 서론

연료전지는 전 세계적으로 고갈되어가고 있는 화석연료의 대체 동력원 중의 하나로 각광받고 있다. 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 상온에서 작동하므로 적용범위가 넓고 상대적으로 빠른 작동성능을 갖고 있는 장점이 있다. 최근 시스템의 소형화 및 경량화를 위하여 기존의 PEMFC 시스템에서 공기를

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

† Corresponding Author, yongckim@korea.ac.kr

© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

공급하기 위한 공기 압축기와 냉각설비를 제외한 소형, 휴대용 장비의 전력공급을 목적으로 하는 수동 공기공급 방식의 PEMFC 스택에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

고분자 전해질 연료전지 스택의 작동온도는 60~80°C인데, 작동온도 이상에서 운전되거나 운전 과정에서 발생하는 열을 적절하게 제거하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 스택내부의 온도분포의 불균형이 생기거나 과열로 인한 부품 손상 및 성능저하 문제가 발생하여 시스템의 신뢰성 확보에 어려움을 겪을 수 있다. 일반적인 PEMFC 스택의 경우는 냉각관을 가공하여 냉각수로 온도를 유지하는 방식이다. 반면에 수동공기공급 방식의 PEMFC는 외부의 공기만을 이용하여 연료를 공급하는 동시에 냉각을 하는 공랭방식을 채택하였다. 따라서 냉각성능이 낮아 과열과 온도 불균형에 의한 문제가 발생할 우려가 더 크다.

Adzakaeva 등<sup>(1)</sup>은 공랭식 PEMFC에 대한 열적 모델링에 대한 연구를 진행하였고, Ying 등<sup>(2,3)</sup>은 별도의 blower를 사용하지 않고 자연대류를 이용하여 공기를 공급하고 냉각하는 공기호흡형 PEMFC의 경우에 대한 모델링과 채널형상이 성능과 온도분포 등에 미치는 영향에 대한 연구를 하였다. Ju<sup>(4)</sup>는 기존의 압축공기 공급형 고분자 전해질 연료전지의 가스채널 최적화에 대한 수치연구를 수행하였으며, Kim 등<sup>(5)</sup>은 냉각수를 이용한 방식의 냉각특성에 대한 연구를 진행하였다. Sohn 등<sup>(6)</sup>은 공랭식 휴대용 전자기기에 사용되는 고분자 전해질 연료전지의 작동특성 및 성능에 관한 연구를 진행하였다. Wang 등<sup>(7)</sup>은 수동공기공급형 고분자 전해질 연료전지의 3차원 모델을 개발하여 열 및 물질전달 특성과 산소수송에 대한 해석을 수행하였다. Bussayajam 등<sup>(8)</sup>은 rib의 형상과 두께가 평판형 공기호흡형 연료전지의 성능에 미치는 영향과 자체가습 MEA에 대하여 연구하였다.

그러나 공랭식 수동공기공급형 연료전지에 대하여 다양한 작동변수 및 스택형상이 연료전지 스택의 온도분포에 미치는 영향에 대한 전산해석 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수동공기공급형 연료전지의 냉각특성에 관한 연구를

수행하여 휴대용 전자장비의 전력 공급을 목적으로 하는 연료전지 스택의 열적 신뢰성 향상을 목표로 하였다. 이를 위해서 공기극 채널의 형상, 공기극 유량분배 방식, 외부 열전달 계수의 변화등의 조건이 스택 내부의 온도 분포에 미치는 영향을 전산해석을 통하여 분석하였다.

## 2. 전산해석 모델

본 연구에서는 스택에서의 각 셀 간의 온도분포 및 공기의 냉각성능과 관련한 전산해석을 실시하였다. 우선 본 연구에서는 공기극과 수소극의 채널이 평행한 7장의 단위전지로 구성된 스택을 그 해석 대상으로 하였다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 하나의 단위전지는 18 mm × 100 mm의 면적을 가지는 MEA를 사이에 두고 5개의 평행채널을 가진 수소극과 공기극의 유동장(flow-field)으로 이루어져있다. 기본 채널은 폭 2 mm, 깊이 2 mm의 크기를 가진다. 해석결과는 Fig. 1의 plane 1에 대하여 나타내었다.

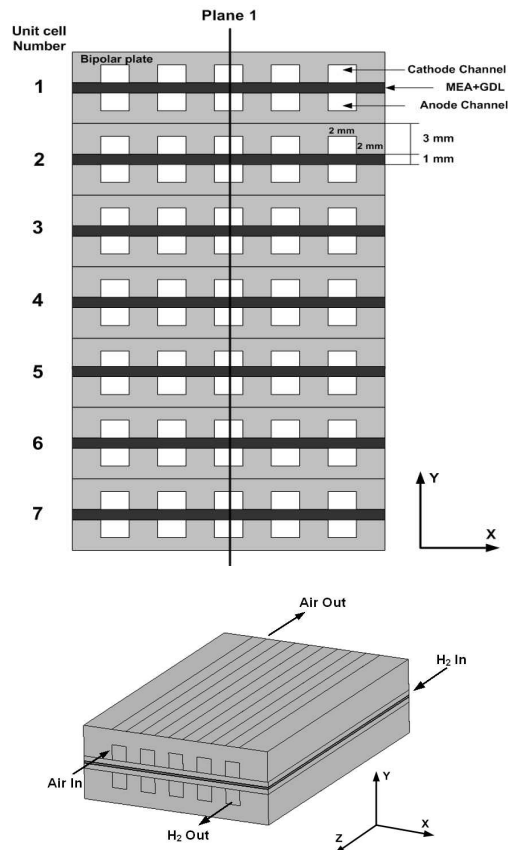
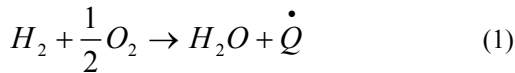


Fig. 1 PEMFC stack and unit cell structure

각 채널에 흐르는 수소와 공기는 대향류 (counter flow)인 것으로 설정하였다. 각 단위전지의 가운데에는 1 mm 두께의 MEA와 GDL의 조합에 상당한 층을 삽입하였다. 이 층에서 연료전지의 전기화학 반응에 의해 생성되는 열이 발생하도록 지정하여 실제 MEA에서의 발열반응을 대신하도록 하였다. 연료전지의 총괄 반응식은 다음과 같다.



이 때 연료전지 스택에서 발생하는 열량은 식 (2), (3)과 같다.<sup>(9)</sup>

$$\frac{I}{2F}H_{LHV}n_{cell} = \dot{Q} + IVn_{cell} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = (1.254 - V)In_{cell} \quad (3)$$

식 (2)에서 보면 반응한 수소의 에너지는 생성된 열량과 생성된 전기에너지의 합과 같음을 알 수 있다. 식 (2)의 좌변의  $H_{LHV}$ 는 수소의 저위 발열량으로 값은 -241.83 KJ/mol 이다. 또한 F는 1 mole의 전자의 전하량인 패러데이 상수 값은

96845 C이며 I 는 스택에 흐르는 전류,  $n_{cell}$ 은 스택을 구성하고 있는 단위 셀의 개수로 본 해석에서는 7개이다. 우변의 V는 스택의 작동전압을 나타낸다. 식 (2)를 정리하면 식 (3)이 되며 이를 이용하여 특정 작동 조건에서 스택에서 발생하는 열량을 구할 수 있다.

본 해석에서는 스택의 작동조건을 스택 전압 0.5 V에서 전류밀도  $J=0.5 \text{ A/cm}^2$ 로 가정하여 열 발생량을 계산하였으며 그 결과 하나의 단위전지당 6.75 W의 열량이 발생하는 것으로 가정하였다. Table 1에 나타난 각 층의 두께 및 열전도계수를 이용하여 중간층의 총괄 열전도계수를 구하였다. 본 해석에 사용된 스택의 사양은 Table 2에 주어진 바와 같으며 스택에 공급되는 수소와 공기의 입구온도는 상온인 298 K로 정하였다. 스택 주변의 공기와의 열전달계수는 약간의 강제대류를 감안하여  $50 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 가정하였다.

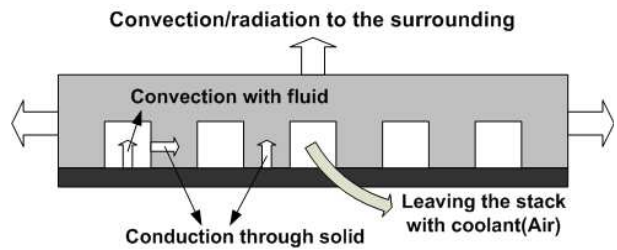
전체적인 물성치 및 해석조건은 Table 2에 제시하였다. 채널을 따라 흐르는 수소 및 공기의 유량은 화학 양론비(stoichiometry)를 기준으로 수소극은  $\lambda=1.5(0.141 \text{ L/min})$ 를 유지하였고, 공기극

**Table 1** Thickness and conduction coefficient of MEA and GDL

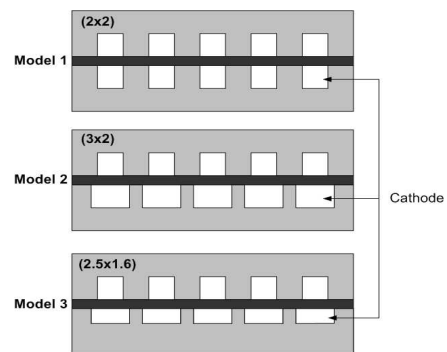
	Thickness	Conduction coefficient (k)
GDL	0.4 mm	3.0 W/mK
Catalyst layer	0.05 mm	3.0 W/mK
Membrane	0.1 mm	0.95 W/mK
Overall layer	1 mm	2.5 W/mK

**Table 2** Properties of MEA and GDL

Description	Porosity
Active area (per 1 unit cell)	18 cm <sup>2</sup>
Current	9A
Voltage (per 1 unit cell)	0.5 V
Thermal conductivity (bipolar plate)	20.0 W/mK
Convection heat transfer coefficient at the outer wall of the stack	50 W/m <sup>2</sup> K
Temperature of H <sub>2</sub> /Air	298 K
Temperature of free stream air around the stack	298 K



**Fig. 2** Heat paths in a passive type fuel cell



**Fig. 3** Cathode channel configurations

은  $\lambda=6, 12, 16(1.356, 2.712, 3.616 \text{ L/min})$ 로 변경하며 해석을 진행하였다. 실제의 PEMFC 스택에서는 공급된 공기 중 일부의 산소는 채널을 통과하면서 화학 반응에 의하여 소비되거나 전체적인 공기의 유량에 비하여 소비되는 산소의 양이 전체 열전달에 미치는 영향이 매우 작은 것으로 판단하여 본 해석에서는 채널 내에서의 질량의 소멸은 고려하지 않았다. 본 해석은 상용 CFD 프로그램인 Fluent를 사용하였고 1000번의 반복계산을 수행하도록 설정하여 수렴된 해를 얻었으며 열전달이 평형에 도달한 정상상태의 결과를 나타낸다. 해석에 사용된 모델은 GAMBIT 프로그램을 이용하여 3차원 형상화 작업을 거치고 격자망(mesh system)을 생성하였다. hexahedral mesh 와 tet/hybrid mesh를 이용하여 격자망을 생성하였으며 cell 개수는 352,235개이다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 공기극 채널 형상의 영향

식 (4)는 연료전지 스택 전체의 열평형을 나타낸다.

$$\sum Q_{in} = W_{el} + \sum Q_{out} + Q_{dis} + Q_c \quad (4)$$

$$Q_c = mc_p(T_{Air,out} - T_{Air,in}) = UALMTD$$

$$LMTD = \frac{(T_s - T_c)_{in} - (T_s - T_c)_{out}}{\ln \frac{(T_s - T_c)_{in}}{(T_s - T_c)_{out}}} \quad (5)$$

공급된 연료의 열량( $Q_{in}$ )은 생성된 전기에너지 ( $W_{el}$ )와 반응에 사용되지 않은 연료의 열량( $Q_{out}$ ), 주변으로 소산되는 열량( $Q_{dis}$ ), 스택 냉각에 의하여 제거되는 열량( $Q_c$ )의 합으로 나타낼 수 있다. 채널 내부에서 유체에 의해 Fig. 2는 해석에 사용된 수동공기공급형 연료전지에서 발생하는 열의 열전달 경로를 나타낸다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 스택내부의 화학반응에 의하여 생성된 열은 가스 확산층과 분리판(bipolar plate)을 통하여 전도되며 채널 내에서 공급되는 공기와의 열교환, 또는 분리판을 통하여 주변과의 자연대류 등에 의하여 일차적으로 제거되며 나머지 열은 냉각을 통하여 제거하게 된다. 수동 공기공급형 연료전지에서는 공급되는 공기를 통하

여 냉각까지 동시에 하는 방식을 사용한다. 식 (5)를 보면 공급되는 공기에 의하여 제거되는 열량은 공기와 접촉하는 채널과 분리판의 면적과 스택의 온도와 공기의 온도의 차이에 의하여 결정됨을 알 수 있다. 본 절에서는 다양한 채널 형상이 채널 내에서 공기를 통한 열 제거와 분리판을 통한 열전달에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

Fig. 3은 본 해석에 사용된 3 가지의 채널형상을 나타낸다. 2 mm X 2 mm 형태를 기본으로 하여(Model 1), 채널의 깊이는 유지하고 폭을 넓게 한 3 mm X 2 mm 형(Model 2)과 채널의 단면적을 유지하면서 폭을 넓게 한 2.5 mm X 1.6 mm 형(Model 3)에 대한 해석을 진행하였다. Fig. 4는 공기의 양론비가 12일 때 Fig. 1에 표시된 plane 1에서의 각 MEA의 최고 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 4를 보면 중심부의 MEA의 온도가 상대적으로 바깥쪽의 MEA에 비하여 높음이 관찰된다. Fig. 5는 Model 1의 경우에 대하여 양론비가

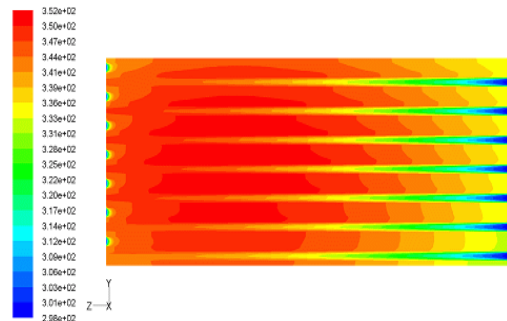


Fig. 4 temperature distribution at plane 1 ( $\lambda_{air}=12$ , 2mmx2mm channel)

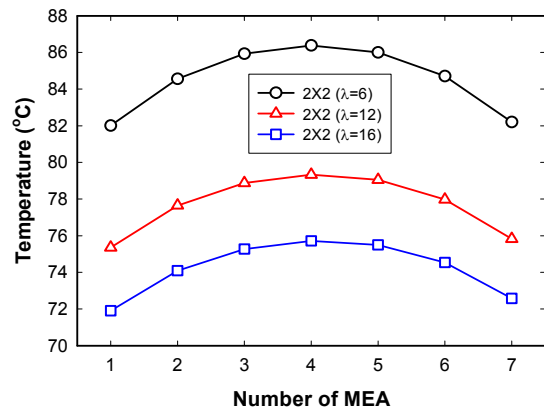


Fig. 5 Variation of the maximum temperature at each MEA according to the air flow rate

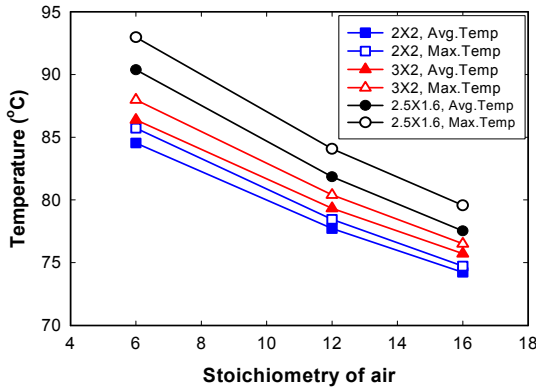


Fig. 6 Variation of maximum and average temperature of the stack according to the air flow rate

각각  $\lambda=6, 12, 16$ 인 경우에 대하여 plane 1에서의 온도분포를 나타낸다.

Fig. 5를 보면 화학양론비가 클수록 즉 공급되는 공기의 유량이 커질수록 MEA의 최고온도와 평균온도가 모두 크게 낮아짐이 확인된다. 양론비가  $\lambda=6$ 에서  $\lambda=12$ 로 증가한 경우에 최고온도가 약 7 K, 평균온도가 약 6.8 K 감소하였으며 양론비가  $\lambda=16$ 으로 증가한 경우에는 최고온도가 약 11 K, 평균온도가 약 9 K 감소함을 확인할 수 있다. 이를 통하여 공급되는 공기의 유량이 스택의 온도분포에 미치는 영향이 매우 크음을 알 수 있다. 또한 Fig. 4와 Fig. 5에서 공통적으로 스택의 중심부의 온도가 끝 부분에 비하여 더 높음이 관찰되고 이를 통해 스택의 중심부에서는 운전과정에서 발생하는 열의 냉각이 양 끝에 비하여 상대적으로 어려움을 알 수 있다.

Fig. 6은 각각의 채널 형상에 대해 각 채널에 공급되는 유량의 양론비가 각각  $\lambda=6, 12, 16$ 로 일정할 때의 스택의 최고온도와 평균온도를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 유량조건에서 Model 1 채널이 평균온도와 최고온도 모두 다른 두 경우에 비하여 낮았으며 이를 통해 가장 우수한 냉각효과를 보임을 알 수 있다. Model 1 채널과 같은 단면적을 가지고 채널 폭을 넓힌 Model 3 채널의 경우 가장 낮은 냉각효과를 보였다. Model 2 채널의 경우는 다른 두 경우에 비하여 채널의 단면적이 넓음에도 Model 1의 채널에 비

하여 냉각효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 냉각효과의 차이는 양론비가 가장 작은  $\lambda=6$ 인 경우에 가장 크게 나타났는데 평균온도와 최고온도는 Model 2 채널에 비하여 약 1.8 K, 2.2 K 차이를 보였으며, Model 2 채널과 비교하면 약 6 K, 7.2 K의 차이를 보였다.

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{q_{\text{int}}}{k} = 0, \quad T = -\frac{q_{\text{int}}}{k} \frac{x^2}{2} + C_1x + C_2 \quad (6)$$

$$T = T_s + \frac{Q}{k_{BP}}x + \frac{q_{\text{int},BP}}{k_{BP}} \left( d_{BP}x - \frac{x^2}{2} \right) \quad (7)$$

분리판을 통한 열전달의 지배방정식은 식 (6)의 첫 번째 식과 같으며 이를 적분하여 두 번째 식을 얻을 수 있다. 식 (6)의 두 번째 식에서  $x$ 는 분리판의 두께를 나타내며 이를 이용하여  $x=0, x=d_{BP}$ 의 경계조건을 대입하여 상수  $C_1, C_2$  값을 구할 수 있다. ( $d_{BP}$ 는 분리판의 두께를 나타냄.) 이를 정리하면 식 (7)를 얻을 수 있으며 식 (7)에서  $Q$ 는 생성된 열량,  $T_s$ 는 스택 표면온도를 나타낸다.<sup>(9)</sup> 결국  $x=d_{BP}$ 일 때 분리판의 두께가 두꺼워질수록 분리판을 통한 열전달이 활발하게 일어남을 알 수 있다. Model 1 채널의 경우는 다른 두 경우에 비하여 채널의 폭이 좁고 rib의 두께가 두껍다. 다른 두 경우는 채널의 폭을 넓히는 과정에서 자연히 rib의 두께가 감소할 수밖에 없었다. 이를 통하여 rib의 두께가 두꺼운 경우에 발생한 열이 rib과 분리판을 통해서 외부로 전도되기가 더 쉬워서 냉각효과가 크게 나타났다고 판단할 수 있다. 따라서 적절한 설계를 통하여 최대의 열전도 효과를 보이며 동시에 충분한 공기의 공급에 지장을 주지 않는 rib과 채널 폭의 비율을 결정하여 최적의 채널형상을 찾는 것이 중요할 것이다.

### 3.2 공기극 유량분포의 영향

일반적인 PEMFC 스택에 공급되는 공기는 각 셀에 균등하게 공급되도록 유로의 설계가 이루어진다. 본 연구에서는 스택의 가운데 부분의 셀의 온도가 주변에 비해 높게 나타나는 현상을 개선

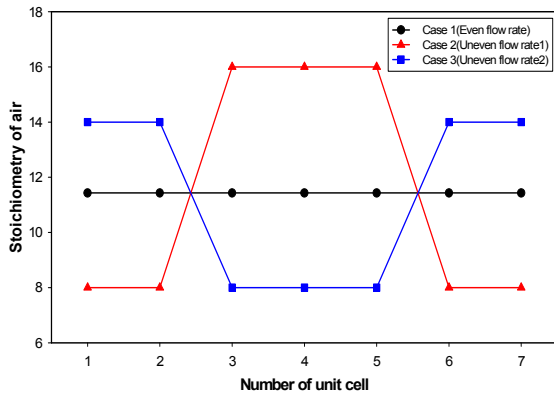


Fig. 7 Variation air flow rate distribution at the cathode side

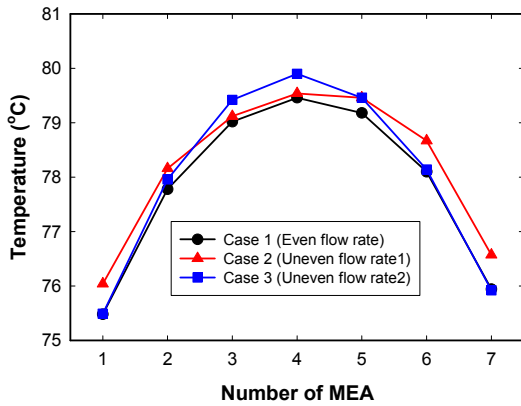


Fig. 8 Variation of the maximum temperature at each MEA according to the air flow rate distribution

하고자 각 셀에 공급되는 공기의 유량분포를 달리 하여 이에 따른 스택 내부의 온도분포를 관찰하였다. Fig. 7은 공기극의 유량분포의 세 가지 방식을 보여준다. 모든 단위 전지에 양론비를 균등하게  $\lambda=11.43(2.583 \text{ L/min})$ 으로 한 경우를 Case 1로, 전체 스택에 공급되는 총 유량을 일정하게 유지하면서 중앙의 단위 전지들에 공기를 집중시킨 경우 Case 2와 양 끝의 단위 전지들에 집중시킨 Case 3에 대하여 각 셀에 공급되는 공기의 양론비를 나타낸다. Case 2의 경우 스택 중앙의 온도상승을 방지하기 위해 중심부 셀 3개 (3, 4, 5번)에 공급되는 유량을 집중하여 양론비를 16으로 증가시키고 외각의 셀 4개 (1, 2, 6, 7번)의 양론비를 중심부 셀의 50%인 8로 유지 하였다. Case 3의 경우 반대로 외각의 셀 4개의 양론비가

14로 증가시키고 중심부 셀의 양론비를 외각 셀의 57%인 8로 작게 조정하였다.

Fig. 8은 스택에 공급되는 공기유량 분포의 세 가지 케이스에 대해 동일한 운전조건에서의 스택 내부의 온도변화를 해석한 결과이다. 결과를 보면 중심부에 온도가 집중되는 현상을 방지하기 위하여 채널에 공급되는 공기의 유량분포를 조정한 Case 2가 외각 셀의 공기유량을 증가시킨 Case 3에 비해 스택의 평균 최고온도와 평균온도가 낮음이 관찰된다. 또한 등온선을 보면 중앙에 고온이 집중되는 현상도 다른 두 경우에 비하여 조금 완화되었음을 확인할 수 있다. 이때의 최고온도는 355 K (79 °C)로서 양론비를 가장자리의 단위 전지들에 집중시킨 경우에 비해서는 약 1 °C의 최고온도가 낮았으며, 양론비를 12로 균일하게 공급하였을 때(Fig. 7)와 비슷한 최고온도를 나타내었다. 이는 약 5 % 정도 적은 유량의 공기를 공급하여도 유량분포를 적절히 조절하는 방법을 개발하여 공기유량을 중심부에 집중시키면 비슷한 냉각성능을 나타낼 수 있고 이를 통해 냉각에 사용되는 전력이 절약할 수 있을 것이다.

### 3.3 외부 열전달계수의 영향

스택의 열평형방정식[식 (4)]에 있어서 외부 공기와의 자연대류 현상에 의해 스택에서 제거되는 열량은 식 (8)과 같이 표현된다. 이때의 열저항은 식 (9)와 같다.

$$Q_{dis} = \frac{T_s - T_0}{R_{th}} \quad (8)$$

$$R_{th} = \frac{1}{\frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_R}},$$

$$R_c = \frac{1}{hA_s}, \quad R_R = \frac{1}{\sigma F A_s (T_s + T_0)(T_s^2 + T_0^2)} \quad (9)$$

$T_s$ 는 스택표면온도,  $T_0$ 는 외부온도를 나타내며  $R_c$ 와  $R_R$ 은 각각 전도열저항, 복사열저항을 나타낸다. 식 (9)의 전도 열저항 항을 통하여 외부로 소산되어 제거되는 열량( $Q_{dis}$ )은 스택외부의 열전

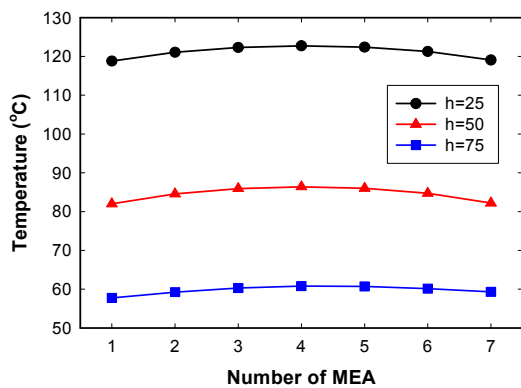


Fig. 9 Variation of the maximum temperature at each MEA according to the external heat transfer coefficient ( $\lambda_{\text{air}}=6$ )

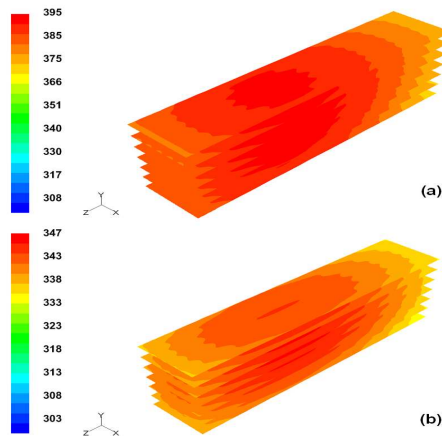


Fig. 10 Temperature distribution at the MEAs of the stack (a)  $h=25 \text{ W/m}^2\text{K}$  (b)  $h=75 \text{ W/m}^2\text{K}$

달계수( $h$ )와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 앞선 해석에서는 공통적으로 스택의 외부 대류열전달계수를  $h=50 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 설정하였다. 본 해석에서는 스택외부의 대류열전달계수의 영향을 알아보기 위하여 공기극 유량을  $\lambda=6$ 으로 유지한 경우에 대하여 외부의 대류열전달계수를 기존의 절반수준인  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ 와 기존보다 50% 향상된  $75 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 변경하였다. Fig. 9는 스택의 외부 대류열전달계수의 변화에 따른 각 셀의 최고온도 분포를 나타내며 Fig. 10은  $h$ 가 각각  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $75 \text{ W/m}^2\text{K}$ 일 때, 7개의 MEA들의 온도의 분포양상을 전체적으로 보여준다.

외부의 열전달 성능이 50% 감소한  $h=25 \text{ W/m}^2\text{K}$ 인 경우의 최고온도는 약 38 K 상승하여

$394 \text{ K}$  ( $121 \text{ }^\circ\text{C}$ )에 이르렀으며,  $50 \text{ W/m}^2\text{K}$ 인 경우에 비하여 큰 폭으로 상승함을 확인할 수 있다. 이는 외부 열전달계수가 크게 감소할 경우 외각의 단위전지가 충분히 냉각되지 못하여 내부의 열이 MEA층과 분리판을 통하여 충분히 전도되지 못한 결과라고 볼 수 있다. 반면에  $h=75 \text{ W/m}^2\text{K}$ 인 경우에는 최고온도가 약 22 K 감소하여  $334 \text{ K}$  ( $61 \text{ }^\circ\text{C}$ )였다. Fig. 10은 외부 열전달계수의 변화에 따른 스택 내부의 셀들의 온도분포를 나타내고 있다. Fig. 10을 통하여 외부 열전달계수가 줄어들 경우 스택의 바깥쪽의 단위전지들 뿐 아니라 스택의 중심부의 단위전지들의 온도 또한 전체적으로 크게 상승함을 확인할 수 있다. 이는 외각의 셀이 냉각되지 않아 중앙부와 외각 부분의 전도 현상을 통한 열전달이 많이 발생하지 않았기 때문이다.

외부 열전달계수  $h$ 값의 변화는 스택의 MEA들의 온도분포에 많은 영향을 미쳤으며 이 결과를 채널형상을 변화시켜준 경우나 유량분포를 달리한 경우와 비교하여 보면 외부 열전달계수가 변화한 경우의 영향이 다른 두 경우에 비해서 매우 큼을 알 수 있다. 따라서 스택의 열적 신뢰성을 확보하기 위해서는 공기극을 통과하는 공기의 유량조절과 더불어 스택과 외부 공기와의 대류열전달을 촉진시키는 방안을 확보한다면 더욱 큰 냉각효과를 얻을 수 있을 것이다. 본 연구에서는 전류밀도와 외부 환경의 변화에 따른 해석을 진행하였으며 향후 실제 시스템 적용을 위해서 동특성, 작동 환경에서 발생하는 조건에 대한 연구를 진행할 것이다. 또한 해석에 사용한 수동공기공급형 PEMFC 스택을 제작하여 해석결과를 실험적으로 검증해 나갈 계획이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전산해석을 통하여 수동공기공급형 연료전지스택의 공기극 채널 형상, 유량분포, 외부 열전달계수의 변화가 스택 내부 MEA의 온도분포에 미치는 영향을 알아보았다. 해석결과를 요약해보면 다음과 같다.

(1) 채널형상의 경우 다른 두 경우에 비하여 채

널의 폭이 좁고 rib의 폭이 두꺼운 2 mm X 2 mm 형태의 채널이 발생된 열의 두꺼운 rib을 통한 전도효과가 커서 냉각효과가 컸다. 하지만 채널의 폭이 넓어질수록 채널 내의 공기 흐름이 원활하여 스택의 성능향상에는 도움이 되므로 최적의 효과를 낼 수 있도록 채널을 설계하는 것이 중요하다.

(2) 공기극에 공급되는 유량의 분포를 달리하며 해석을 한 경우에 중심부의 온도 불균형 문제를 해소하기 위하여 유량을 중심부에 집중시킨 경우가 양 가장자리에 집중시킨 경우에 비하여 더 좋은 냉각효과를 보였고 더 적은 유량으로 균일하게 유량을 공급한 경우와 비슷한 냉각효과를 보였다.

(3) 외부 대류열전달계수의 변화는 스택의 최고 온도 및 전체 온도분포에 매우 큰 영향을 미쳤다. 외부 대류열전달계수가 50% 상승한 경우에 스택의 최고온도가 약 20 K가량 감소하는 효과를 보였으며 이를 통하여 큰 냉각효과를 얻기 위해서는 적절한 유량공급과 더불어 스택의 외부 열전달 성능을 향상시키는 것이 중요함을 알 수 있었다. 따라서 해석에서 제안된 조건인 외부 대류열전달계수의 50% 향상을 실제 스택에 적용 시킬 수 있도록 스택 외부에 열전달을 촉진시키는 설계 기술에 대한 연구가 필요할 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국연구재단 중견연구자 지원 사업(2009-0086642)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

(1) Ying, W., Ke, J., Lee, W. Y., Yang, T. H. and Kim, C. S., 2005, "Effects of Cathode Channel Configurations on the Performance of an

Air-breathing PEMFC," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 30, pp. 1351~1361.

- (2) Adzakpa, K. P., Ramousse, J., Dube, Y., Akremi, H., Agbossou, K., Dostie, Poulin, A. and Fournier, M., 2008, "Transient Air Cooling Thermal Modeling of a PEM Fuel Cell," *J. Power Sources*, Vol. 179, pp. 164~176.
- (3) Ying, W., Sohn, Y. J., Lee, W. Y., Ke, J., and Kim, C. S., 2005, "Three-dimensional Modeling and Experimental Investigation for an Air-breathing Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)," *J. Power Sources*, Vol. 145, pp. 563~571.
- (4) Ju, H. C., 2008, "Numerical Study of Land/Channel Flow-field Optimization in Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFCs)(I)," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 32, No. 9, pp. 683~694.
- (5) Kim, Y. H., Lee, Y. T., Lee, K. J., Kim, Y. C., Choi, J. M. and Ko, J. M., 2007, "Numerical Simulation on Cooling Plates in a Fuel Cell," *Journal of SAREK*, Vol. 19, No. 1 pp. 86~93.
- (6) Sohn, Y. J., Park, G. G., Yang, T. H., Yoon, Y. G., Lee, W. Y., Yim, D. S. and Kim, C. S., 2005, "Operating Characteristics of an Air-cooling PEMFC for Portable Applications," *J. Power Sources*, Vol. 145, pp. 604~609.
- (7) Wang, Y. and Ouyang, M., 2006, "Three Dimensional Heat and Mass Transfer Analysis in an Air-breathing Proton Exchange Membrane Fuel Cell," *J. Power Sources*, Vol. 164, pp. 721~729.
- (8) Bussayajarn, N., Ming, H., Hoong, K., Stephen, W. and Hwa, C., 2009, "Planar Air Breathing PEMFC with Self-humidifying MEA and Open Cathode Geometry Design for Portable Applications," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 34, pp. 7761~7767.
- (9) Barbir, F. 2005, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*, ELSEVIER, Burlington, pp. 178~197.