

고분자 전해질 연료전지의 물 배출 성능 향상을 위한 측매층 공급 대류 촉진 사행성 유동장 설계

최갑승 · 배병철[†] · 박기원[†] · 김형만^{*,†}

한국에너지기술연구원 산업기술협력센터

[†]인제대학교 기계공학과 & 고안전차량 핵심기술연구소

(2012년 2월 21일 접수 : 2012년 3월 27일 채택)

Design of Serpentine Flow-field Stimulating Under-rib Convection for Improving the Water Discharge Performance in Polymer Electrolyte Fuel Cells

Kap-Seung Choi, Byeong-Cheol Bae[†], Kiwon Park[†], and Hyung-Man Kim^{*,†}

Industrial Technology Cooperation Center, Korea Institute of Energy Research

[†]*Department of Mechanical and Automotive Engineering & High Safety Vehicle Core Technology Research Center,
INJE University*

(Received February 21, 2012 : Accepted March 27, 2012)

초 록

고분자 전해질 연료전지의 성능은 매우 복잡한 물리 현상들에 의해 변화하게 된다. 반응면적이 25 cm²인 5-pass, 4-turn 사행성 유동유로의 립 부분에 보조유동유로를 가지는 형상에 대하여 물 관리 측면에서의 연료전지 성능을 수치해석을 통해 비교하였다. 보조유동유로를 추가함에 따라 측매층 공급 대류의 유동 방향이 변경되어 유로 내부의 물 배출 특성을 향상시키는 결과를 나타내었다. 또한 입구에서의 공급기체를 보조유동유로로 분산시킴에 따라 입구에서의 전류 밀도는 낮아지며 보조유동유로로 이동하는 공급기체들은 주 유동유로의 내에서의 체류시간보다 길어져서 전체적인 전류밀도 분포가 균일해지는 것을 확인하였다.

Abstract : Proton exchange membrane fuel cell performance is changed by the complicated physical phenomenon. In this study, water discharge performance of proton exchange membrane fuel cell were performed numerically to compare serpentine channel flow fields of 5-pass 4-turn serpentine and 25 cm² reaction surface between with and without sub-channel at the rib. Through the supplement of sub channel flow field, it is shown from the results that water removal characteristic inside channel improves because the flow direction of under-rib convection is changed into the sub channel. Reacting gases supplied from entrance disperse into sub channel flow field and electrochemical reaction occurs uniformly over the reaction surface. The results obtained that total current density distributions become uniform because residence time of reacting gases traveling to sub-channel flow field is longer than to main channel.

Keywords : Polymer Electrolyte Fuel Cell, Serpentine Flow-Field, Sub-Channel, Under-Rib Convection, Water Discharge Performance

*E-mail: mechkhm@inje.ac.kr

Nomenclature

a_k	: 물 활동도
C_{wa}	: 연료극 물의 농도, mol/m ³
C_{wc}	: 공기극 물의 농도, mol/m ³
C_{wK}	: 연료극 또는 공기극의 막의 표면에 서의 수증기 농도, mol/m ³
D_w	: 물의 확산 계수, m ² /s
F	: 페러데이 상수
I	: 전류 밀도, A/m ²
$M_{m, dry}$: 건조 막에서의 화학 당량, kg/mol
P	: 압력, Pa
$P_{w, K}^{sat}$: 연료극 또는 공기극의 내부에서의 물의 증기압, Pa
t_m	: 막의 두께, m
T	: 확산 온도, K
V_{oc}	: 셀의 개회회전압, V
V_{cell}	: 셀 전압, V
$X_{w, K}$: 연료극 또는 공기극에서의 물 분율
α	: 물의 거동
η	: 산소 반응에 대한 과전압, V
η_d	: 전기삼투계수
λ	: 수분 함수율
$\rho_{m, dry}$: 건조 막에서의 밀도, kg/m ³
σ_m	: 전해질 이온 전도도, S/m
By-pass	: 우회 유로
CASFF	: 주 유로만의 최적 사행성유로 (Conventional Advanced of Ser- pentine Flow-Field)
GDL	: 기체투과층
MEA	: 막 전극 집합체
Main channel	: 주 유로
Sub-channel	: 보조 유로
SFFSB	: 주 유로에 보조 유로와 우회 유로를 추가한 최적 사행성 유로 (Serpentine Flow-Field with Sub- channel and By-pass)

1. 서 론

전 세계적으로 환경파괴, 화석연료 고갈이 심각한 사회 이슈로 떠오름에 따라 대체 청정에너지는 긴박하게 요구되어진다. 수소 경제사회에서의 고분자전해질 연료전지는 기존 에너지 변환기술에 비해 친환경적이며 청정한 전력을 공급해줄 것으로 예상하고 있다.^{1,2)} 그러나 고분자전해질 연료전지(PEFC; Polymer Electrolyte Fuel Cell)의 상용화에 있어 물 넘침(Water flooding) 현상과 물질전달 손실에 대한 중요한 기술적 문제를 해결하지 못하고 있다. 따라서 지난 수십년간 고분자전해질 연료전지 시스템의 공기극의 물 관리를 포함한 몇 가지 근본적인 문제에 대해 광범위하

게 연구되어지고 있다. 바이폴라 플레이트의 설계와 유동채널의 레이아웃 구성 등은 대체청정에너지원을 대체할 수 있게 하는 잠재력 있는 연료전지의 연구 분야이다.³⁻¹⁴⁾

유동채널은 반응물의 분산과 전류 집전 역할을 하는 고분자전해질 연료전지의 중요한 구성 부품 중 하나이다. 농도손실을 최소화하기 위해서는 전극 표면에서 반응물의 균일한 분포와 연료전지 내부의 효과적인 물 배출이 필수적이다. 이를 위해 Parallel, Serpentine, Interdigitate와 같은 다양한 유동채널형태가 연구되고 있다.³⁾ 최적 형상의 유동장 설계는 물질 전달과 물 관리에 큰 역할을 하며 이것은 안정적인 연료전지 성능에 영향을 주는 것으로 보고되었다. 립 아랫부분에서 발생하는 대류 유동에 의해 반응물의 농도 증가와 물 배출 향상을 통해 촉매층에서의 반응효율을 향상시킬 수 있다.⁴⁾

Williams 등⁵⁾과 Park 등⁶⁾은 높은 가스 투과율을 가진 기체투과층(GDL; Gas Diffusion Layer)은 고분자 전해질 연료전지의 성능 향상과 압력강하 감소시킬 수 있고 균일한 온도 분포는 원활한 운전과 내구성 향상에 큰 영향을 미친다고 발표하였다. Nam 등⁴⁾은 다중 사행성 유로에서 촉매층 공급 대류 향상과 연료전지 성능 향상을 위해 수치 해석적으로 연구하였다.

본 연구에서는 사행성 유로를 가지는 연료전지내부에서 발생하는 촉매층 공급 대류의 영향을 알아보기 위하여 주 유로만으로 이루어진 사행성유로 형상(CASFF; Conventional Advanced of Serpentine Flow-Field)과 주 유로에 보조유로가 추가된 사행성유로 형상(SFFSB; Serpentine Flow-Field with Sub-channels and By-passes)에 대해 압력강하, 응축수 배출, 물의 거동, 전류밀도 분포를 수치 해석적으로 비교, 분석하였다.

2. 수치해석 모델

본 연구의 수치해석 모델은 Choi 등⁹⁾이 유동장 최적화에 사용한 전산유체역학 프로그램인 CD-adapco STAR-CD 4.12와 고분자 전해질 연료전지 전용 해석 프로그램인 ES-PEMFC 2.40을 사용하였다. 해석 모델은 정상 상태, 이상 기체, 균질 이상 유동으로 가정하고, 전해질 표면에서의 기체의 용해 과정에 의해 생기는 물의응축은 Henry의 법칙을 이용해 얇은 막 형태로 존재하는 것으로 가정하였다. 본 연구에 사용된 수치해석 모델의 구성은 Fig. 1과 같고, 경계조건은 Table 1과 같다.

촉매층 공급 대류는 연료전지 내부 반응 기체의 농도를 균일하게 만들어 주며, 생성된 물을 효과적으로

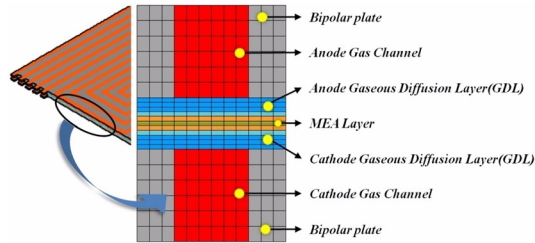


Fig. 1. Schematic illustration of a computational domain for PEMFC simulation.

Table 1. Operating conditions and inlet flow velocity at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$

Inlet conditions		
	Anode	Cathode
Gas	H ₂	Air
Stoichiometry	1.5	2.0
Inlet temperature (°C)	75	75
Inlet relative humidity (%)	100	100
Mass fraction of hydrogen	0.078	-
Mass fraction of oxygen	-	0.169
Mass fraction of water	0.561	0.274
Operating conditions		
%H ₂ in reformat		75
Exit pressure (kPa)		101
H ₂ exchange current density (A/cm ²)		2000
O ₂ exchange current density (A/cm ²)		200
Open-circuit voltage (V)		0.96
Cell temperature (°C)		75

제거하여 전체적인 성능 향상에 도움을 준다. Fig. 2와 같이 본 연구는 25 cm²의 5-pass, 4-turn의 일반적인 형태의 사행성유로 CASFF와, 축매충 공급 대류가 활발하게 일어날 수 있도록 보조 유로가 추가된 SFFSB를 고분자전해질 연료전지의 성능과 관련된 변수인 압력강하, 응축수의 배출, 전류밀도 균일도, 출력밀도에 대해 수치해석을 수행하고 비교하였다. 두 가지 유동장의 형상에 대한 세부치수는 Table 2에 나타내었다.

해석의 정확도를 높이기 위해 육면체 형태의 격자를 사용하였으며, CASFF와 SFFSB의 계산에 사용된 격자수는 각각 3.078만개, 3.336만개이다.

본 계산 과정은 AMG(Algebraic Multi-Grid) 기법을 이용한 SIMPLE 알고리즘을 이용하였다. 해석의 정확성을 확인하기 위해 10 cm², 25 cm² 사행성유로

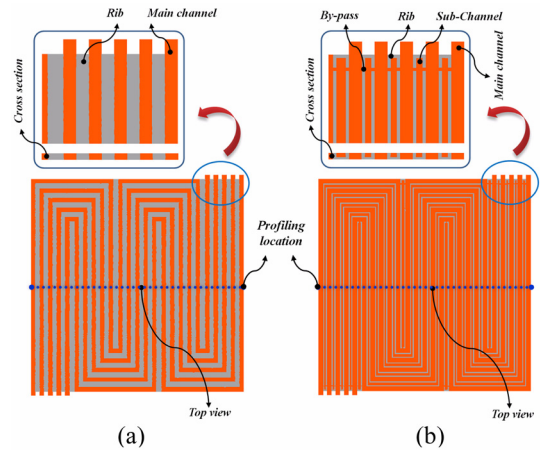


Fig. 2. Schematics of computational domains for (a) CASFF and (b) SFFSB of 5-passes and 4-turns on 25 cm² active area.

Table 2. Geometry details

Flow-field patterns	CASFF	SFFSB
Main channel width (mm)	1.0	1.0
Main channel rib width (mm)	1.0	1.0
Sub-channel width (mm)	-	0.75
Main channel height (mm)	0.5	0.5
Sub-channel height (mm)	-	0.334
Cross-sectional area (cm ²)	0.025	0.025

고분자전해질 연료전지에 대하여 계산 격자의 민감도와 해석 결과를 확인하였으며, 질량과 에너지 불균형에 대해 1% 이하를 수렴 판단 조건으로 수렴 오차는 1e-7 이하가 되게 하였다.^{9,12)}

3. 결과 및 토의

25 cm² 사행성 유로를 가지는 CASFF와 SFFSB에 대해 Table 1과 같이 화학양론비(1.5:2.0) 기준으로 동일한 해석 조건을 설정하였다. 고분자전해질 연료전지의 내구성과 에너지 효율을 고려할 때 최적의 운전 범위인, 평균 전류 밀도 0.6 A/cm²에서의 수치해석 결과를 정량적으로 비교하기 위하여, Fig. 2의 측정지점 (Profiling location)에서의 수소와 산소의 질량 분율, 전해질막의 수분 함수율(λ), 물 거동(α), 액상질량분율, 압력, 온도결과를 비교하였다. 이에 대한 지배방정식은 Table 3과 같다.^{9,14)}

축매충 공급 대류는 입구에서 출구로 반응 기체가 유동할 때 채널과 인접한 채널사이에서 발생되는 압

Table 3. Governing equations

Local membrane conductivity

$$\sigma_m(x, y) = \left(0.00514 \frac{M_{m, dry}}{\rho_{m, dry}} C_{wa}(x, y) - 0.00326 \right) \exp \left(1268 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T(x, y)} \right) \right) \times 10^2 \quad (1)$$

Water vapor concentration for anode and cathode surfaces of the MEA

$$C_{wK}(x, y) = \frac{\rho_{m, dry}}{M_{m, dry}} (0.043 + 17.8a_K - 39.8a_K^2 + 36.0a_K^3); \quad a_K \leq 1$$

$$= \frac{\rho_{m, dry}}{M_{m, dry}} (14 + 1.4(a_K - 1)); \quad \text{for } a_K > 1 \quad (2)$$

Water content in the membrane

$$\lambda = 0.043 + 17.81a_a - 39.85a_a^2 + 36.0a_a^3; \quad 0 < a_a \leq 1 = 14 + 1.4(a_a - 1); \quad 1 < a_a \leq 3 \quad (3)$$

Water activity

$$a_K = \frac{X_{w, K} P(x, y)}{P_{w, K}^{sat}} \quad (4)$$

Electro-osmotic drag coefficient

$$n_d = 0.0029\lambda^2 + 0.05\lambda - 3.4 \times 10^{-19} \quad (5)$$

Net water transfer coefficient per proton

$$\alpha(x, y) = n_d(x, y) - \frac{F}{I(x, y)} D_w(x, y) \left(\frac{C_{wc}(x, y) - C_{wa}(x, y)}{t_m} \right) \quad (6)$$

Local current density

$$I(x, y) = \frac{\sigma_m(x, y)}{t_m} (V_{oc} - V_{cell} - \eta(x, y)) \quad (7)$$

력차에 의해 립 아랫부분에서 기체투과층을 통해 이동하는 대류 유동으로, 반응물의 농도 분포와 립 부분의 물 제거 능력을 향상 시키는 중요한 역할을 한다. Fig. 3은 CASFF와 SFFSB의 대표적인 촉매층 공급 대류 유동방향과 물 거동 의 메커니즘을 표현한 것이다.

CASFF의 경우, 연료전지 내부 반응기체의 유동에 의해 주 유로 간의 압력차에 의해 인접한 주 유로로 반응기체가 립 아랫부분을 통해 이동하며 입구에서 출구방향으로 이동되는 것이 일반적이나, 보조 유로를 주 유로 사이에 추가한 SFFSB의 경우, 주 유로와 보조 유로 간의 압력차에 의해 촉매층 공급 대류의 유동방향이 보조 유로를 기준으로 주 유로에서 보조 유로로 유동 방향이 변경되게 된다. 또한 립 부분에서 생성된 물은 보조 유로로 배출되게 된다.

Fig. 3에 나타난 속도벡터는 촉매층 공급 대류 유동 방향 뿐만 아니라 수소와 산소의 질량분율 수치해석 결과에 대해 유추할 수 있다. 연료극의 수소 속도벡터는 CASFF에 비해 SFFSB가 립 폭이 감소되어 기체 투과율과 분산력이 향상됨에 따라 Fig. 4(a)와 같이 수소 질량분율이 감소하게 된다. 특히, 입구에서부터 촉매층 공급 대류에 의해 분산된 반응기체가 주 유로와 보조 유로를 통해 출구로 이동하게 되고, $X \approx 40 \sim 50$ mm 구간에서 보조 유로를 통해 이동한 반응기체가 주 유로로 급격히 빠져나옴에 따라 수소 질량분율이 증가하게 된다.

고분자전해질 연료전지에서 수분이 너무 많은 경우 전기화학반응을 방해하고, 너무 건조한 경우 이온 전도도(σ_m)를 감소시키기 때문에 물 관리는 연료전지 성

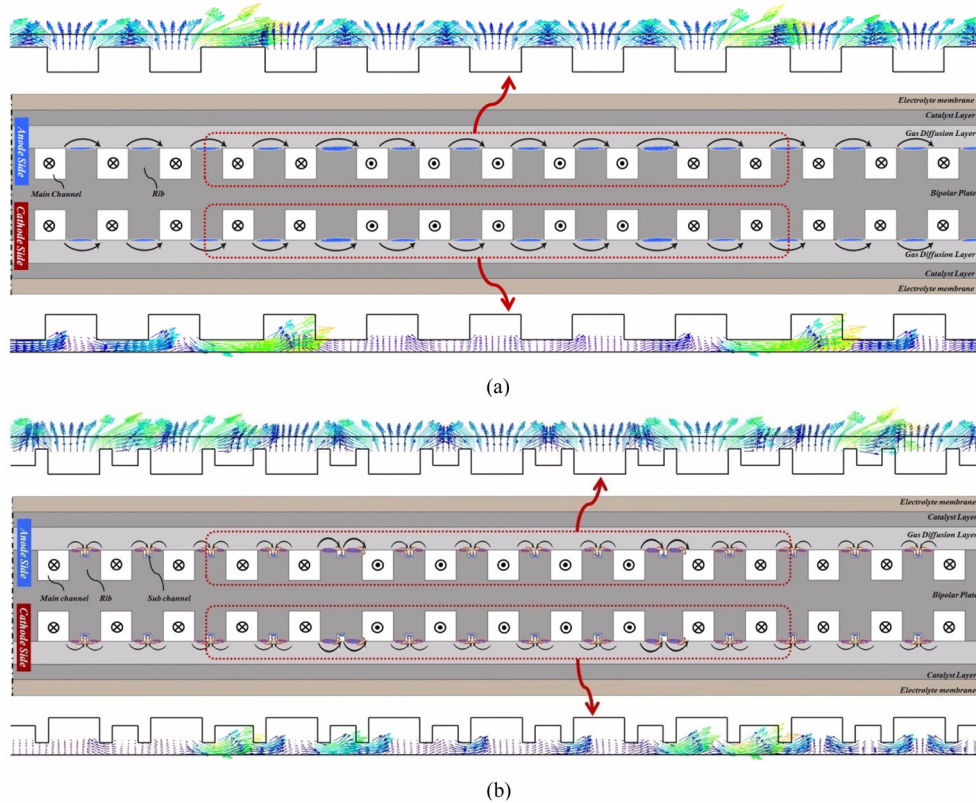


Fig. 3. Cross-sectional views illustrating the under-rib convection and liquid water transport mechanisms and velocity vectors of reactants in (a) CASFF without sub-channel and (b) SFFSB with sub-channel.

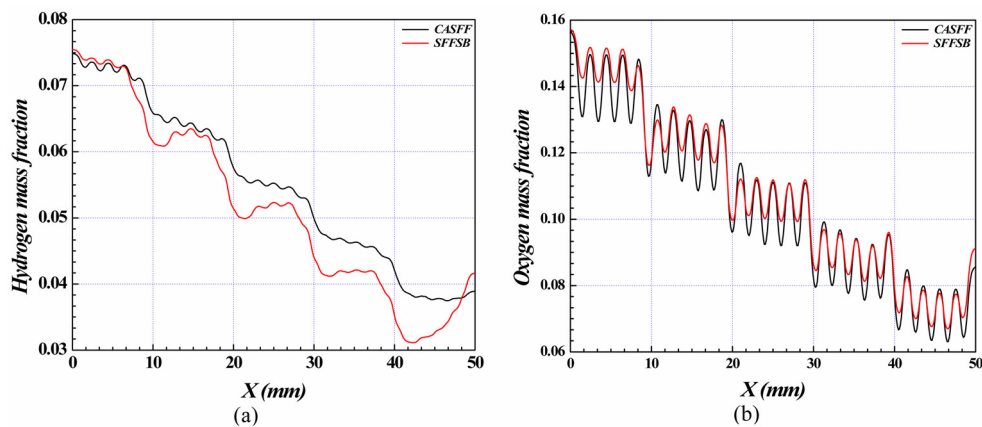


Fig. 4. The comparison of the mass fraction distribution between CASFF and SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$; (a) Hydrogen mass fraction; (b) Oxygen mass fraction.

능 최적화를 위해 매우 중요한 사안이다.

전해질 이온 전도도(σ_m)는 연료극의 전해질 표면에서의 물의 농도(C_{wa})가 증가함에 따라 수분함수율(λ)

은 선형적으로 비례하게 된다.⁹⁾

Fig. 5(a)는 평균 전류 밀도 0.6 A/cm^2 에서 CASFF와 SFFSB의 전해질막 수분함수율(λ)을 비교한 것이

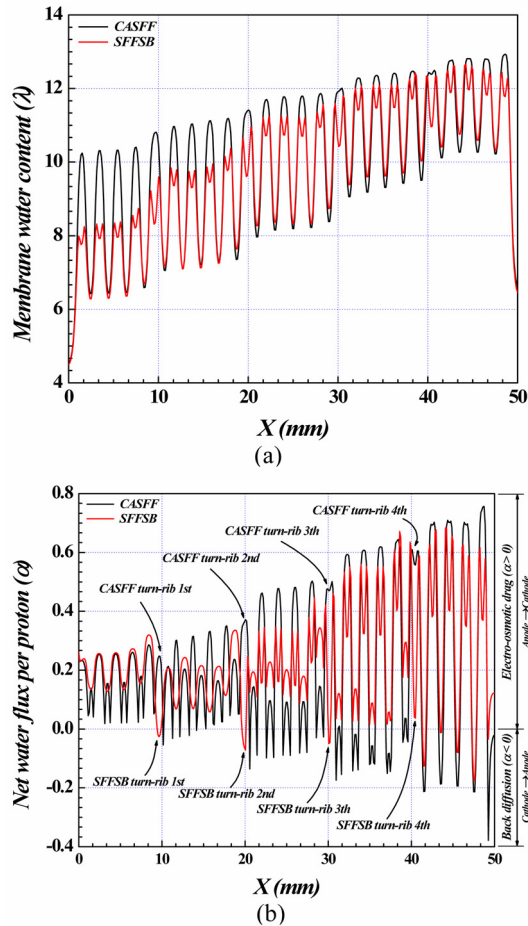


Fig. 5. Membrane water contents and net water flux per protons in CASFF are compared with those in SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$; (a) Membrane water content; (b) Net water flux per proton.

다. 촉매층 공급 대류에 의해 립 아랫부분에서 전기화학반응이 활발해져 다량의 생성물이 립 부분에 존재하게 된다. 따라서 립 부분에 존재하는 생성물이 전해질막으로 흡수되기 때문에 수분함수율(λ)은 주 유로보다 립 부분이 높은 것을 알 수 있다. 또한 전해질막 수분함수율(λ)은 압력에 큰 영향을 받는 물 활동도(α_k)에 의해 좌우되기 때문에 입구에서 출구로 갈수록 증가한다.⁹⁾

Fig. 5(b)는 평균 전류 밀도가 0.6 A/cm^2 일 때 CASFF와 SFFSB의 물의 거동(α)를 나타낸 것이다. 수분함수율(λ)에 의해 결정되는 전기삼투계수(η_d)는 연료극과 공기극의 물의 거동(α)에 영향을 미치게 된다. 물 거동(α)이 0보다 클 때 역확산(Back-diffusion)보다 전기삼투현상이 더 활발히 일어나 연료극에서 공

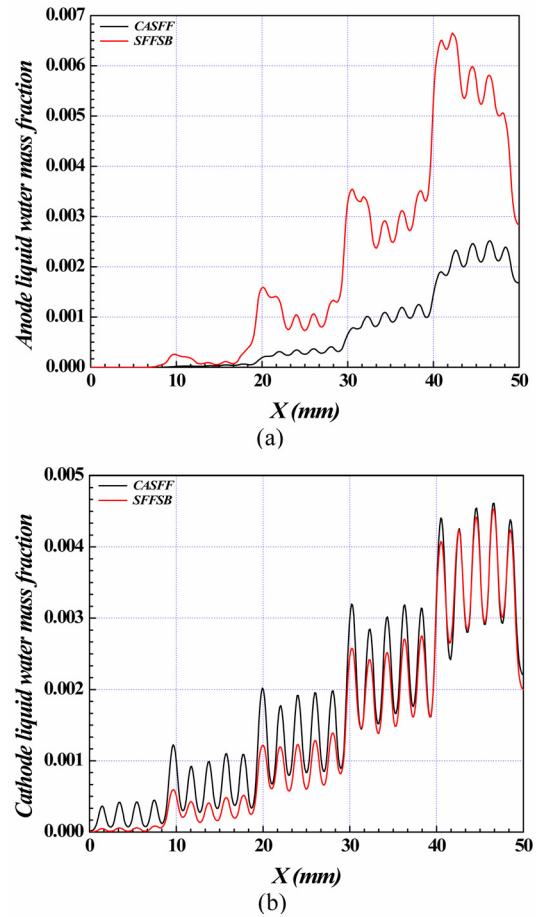


Fig. 6. The comparison of the liquid water mass fraction distribution between CASFF and SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$; (a) Anode liquid water mass fraction; (b) Cathode liquid water mass fraction.

기극으로 물이 이동한다. 반대로 물 거동(α)이 0보다 작으면 물은 공기극에서 연료극으로 이동하는 역확산이 활발해진다.⁹⁾

Fig. 5(b)의 결과와 같이 SFFSB의 보조 유로에 대한 SFFSB의 영향은 모서리 립(Turn-rib) 부분에서의 역전현상과 립 부분의 최고점은 양의 값을 유지하는 선에서 감소하게 되고, 유로 부분의 최고점은 양의 값에서 음의 값으로 감소하며 입구에서 출구로 갈수록 확연히 잘 나타나게 된다. 입구에서의 물의 거동은 대부분 건조한 전해질막에 흡수되어 수분함수율(λ)을 증가시키므로 물의 거동에 큰 변화를 미치지 못한다. 이러한 원인은 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 SFFSB의 공기극의 속도벡터의 촉매층 공급 대류 유동방향에 따라 물의 거동이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 모서

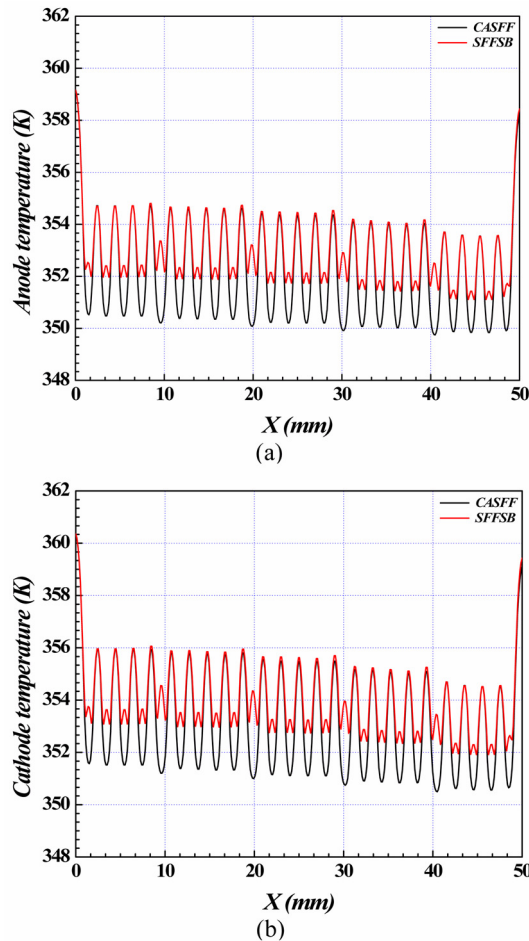


Fig. 7. Temperatures on the anode and cathode side in CASFF are compared with those in SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$; (a) Anode temperature; (b) Cathode temperature.

리 립 부분에 위치한 보조 유로는 유동방향이 변경됨에 따라 주 유로 간의 압력차가 크게 발생하여 촉매층 공급 대류 강도가 급격히 증가하게 되고, 보조 유로에 다량의 물이 존재하게 된다. 따라서 모서리 립 부분에서의 물의 거동은 역확산에 의해 공기극에서 연료극으로 이동하게 된다. 전해질막 수분함수율(λ)과 물 거동(α)의 영향을 확실하게 알 수 있도록 Fig. 6에 CASFF와 SFFSB의 평균전류밀도 0.6 A/cm^2 에서 액상 질량분율을 연료극과 공기극으로 나누어 비교하였다. 전기 화학 반응에 의해 공기극에서 물이 생성되고, 연료극으로 역확산 되어 연료극의 액상 질량분율은 SFFSB가 CASFF보다 높게 나타난다.

Büchi와 Scherer¹³⁾의 연구결과에 의하면 연료극의 건조현상은 전기삼투현상을 보상할 수 있을 만큼 역

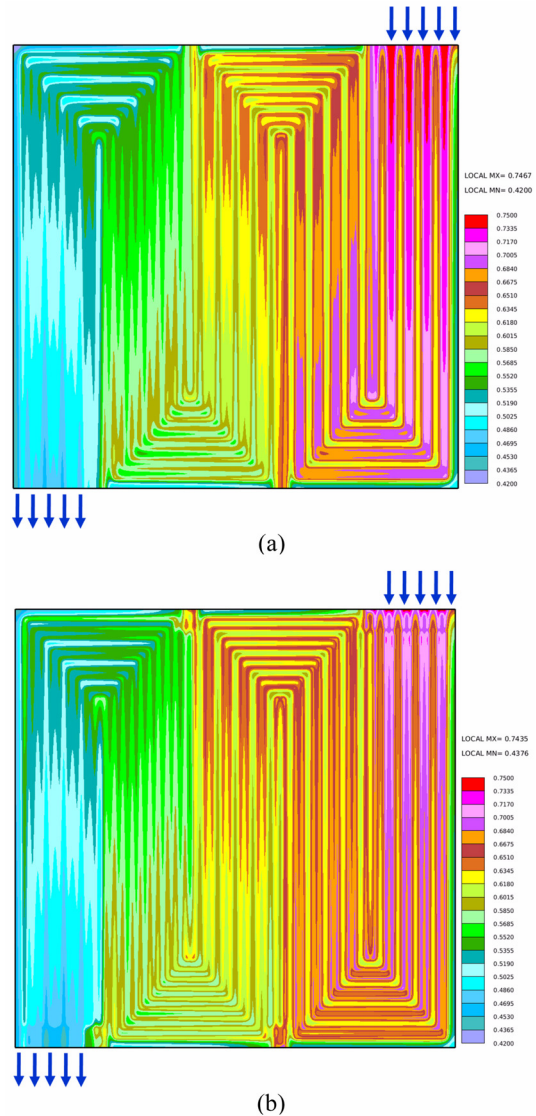


Fig. 8. Current density distributions in CASFF are compared with those in SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$; (a) CASFF; (b) SFFSB.

확산이 충분치 않고, 물이 이동하는 속도보다 연료극의 건조가 더 빨리 진행되게 된다. 따라서 충분한 물의 역확산은 전기삼투현상으로 인한 연료극의 건조효과를 보상하는데 효과적이라고 제시하고 있다. 이러한 보조 유로의 영향은 연료극의 건조현상 방지, 연료극과 공기극의 물 평형 유지, 전해질 막의 온도 균일도 향상 등의 긍정적인 결과로 작용하게 된다.

고분자전해질 연료전지는 수소와 산소의 전기화학적 반응에 의해 변화하는 온도변화를 CASFF와

SFFSB의 연료극과 공기극으로 구분하여 Fig. 7에 나타내었다.

PEFC의 경우 공기극의 전해질 막 표면에서 전기화학반응으로 인한 발열반응이 일어나 공기극이 연료극보다 높은 온도변화를 나타내게 된다. 립 부분이 유로 부분보다 낮은 것은 촉매층 공급 대류에 의해 립 부분에서의 전기 화학반응이 활발히 일어나며 이때 생성된 물에 의해 반응열이 냉각되어서이다. 또한 출구가 입구에 비해 1~1.5°C 정도 낮은 것은 출구에서의 낮은 압력차가 유로 내부에 생성된 물을 원활히 배출시키지 못해 냉각 효과로 작용한 것이다.^{9,14)} 유로와 립 간의 온도차가 작은 SFFSB의 경우 균일한 온도분포로 인하여 막 전극 집합체(MEA; Membrane Electrode Assembly)의 기계적 열화를 저감시켜 연료전지의 수명을 연장시킬 수 있다. Fig. 8은 CASFF와 SFFSB의 평균 전류 밀도 0.6 A/cm²에서의 전류밀도 분포를 비교한 것이다. 전체적인 전류밀도 분포는 입구에서 출구로 갈수록 반응기체의 농도 감소로 인하여 국부 전류밀도가 감소되는 것을 알 수 있다.

SFFSB의 경우, CASFF에 비해 촉매층 공급 대류 강도가 증가하여 입구에서 기체 분산력이 향상됨에 따라 낮은 국부 전류밀도를 나타내게 되며 출구로 갈수록 반응기체의 농도가 높아져 국부전류밀도가 상승하게 된다. 전류밀도의 변화는 Fig. 5(a)의 전해질 막 수분함수율(λ)에 의해 결정되는 전해질 이온 전도도(σ_m)와 직접적인 관련성을 가진다.⁹⁾ 따라서 연료전지 물 관리 성능을 결정짓는 중요한 요소 중에 하나이다. SFFSB의 균일한 전류밀도 분포는 MEA의 기계적인 응력과 열화를 저감시켜 연료전지의 수명을 연장시킬 수 있다.

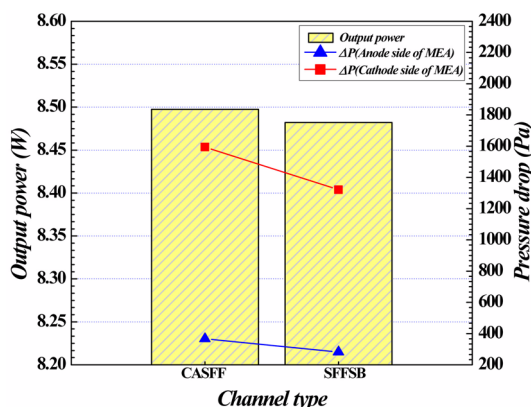


Fig. 9. The output powers and pressure drops on the anode and cathode side in CASFF are compared with those in SFFSB at $I_{ave} = 0.6 \text{ A/cm}^2$.

CASFF와 SFFSB의 종합적인 성능비교를 정량적으로 평가하기 위하여 평균전류밀도 0.6 A/cm²에서의 압력강하와 출력을 Fig. 9와 같이 나타내었다. 동일 전류밀도(0.6 A/cm²) 구간에서 출력을 비교해볼 때 CASFF의 출력은 8.505 W이며 SFFSB는 0.35% 낮은 8.475 W로, 0.03 W의 극히 미소한 차이를 보인다.

연료극과 공기극의 입출구간의 압력차는 보조 유로를 가지는 SFFSB가 확연히 낮음을 알 수 있다. 이는 연료전지 시스템에 적용하게 될 경우 낮은 압력차에 의해 공급기체 공급에 필요한 공급장치의 동력 손실을 감소시킬 수 있어 전체 시스템 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 유동장의 촉매층 공급 대류 유동 방향 제어를 통해 고분자전해질 연료전지의 성능 향상에 대한 연구를 수행하였으며, 주 유로만을 가지는 CASFF와 주 유로와 보조 유로를 가지는 SFFSB에 대하여 물 관리 측면에서의 연료전지 성능변화를 수치해석적인 방법을 이용하여 알아보았다.

고분자전해질 연료전지에서의 물질전달 및 전기화학반응은 대류와 확산에 의해 제어할 수 있다. 연료전지 내부의 촉매층 공급 대류에 의한 물질전달과 기체 투과율은 주로 인접 주 유로 간의 압력차에 의해 결정되고 전기화학반응에 의해 전체적인 연료전지 성능을 결정하게 하는 중요한 인자이다. CASFF의 경우, 주 유로 간의 압력차에 의해 인접한 주 유로로 반응기체가 립 아래부분을 통해 이동하고 입구에서 출구 방향으로 이동한다. SFFSB의 경우, 주 유로와 보조 유로 간의 압력차에 의해 촉매층 공급 대류의 유동방향이 보조 유로를 기준으로 주 유로에서 보조 유로로 유동 방향이 변경되는 것을 확인하였다. 이러한 유동 방향의 변화로 반응 가스가 보조 유로로 이동하면서 립 아래부분에서 생성된 물을 보조 유로로 밀어내어 물 배출과 물의 거동을 조절하여 연료극과 공기극의 물 균형을 향상시켜 연료극의 건조현상을 방지하게 된다. 또한 공기극과 연료극의 입구 쪽에서 공급되는 공급 기체를 주 유로로 분산시킴에 따라 입구 쪽에서의 전류 밀도는 낮아지지만 보조 유로로 이동하는 반응 가스들은 주 유로 내에서 체류하는 시간보다 길어져서 전체적인 전류밀도 분포가 균일해 지는 것을 확인할 수 있었다.

보조 유로를 이용하여 촉매층 공급 대류의 유동 방향을 변화 시킨 SFFSB는 반응가스 분산력 향상, 입출구의 압력강하 감소, 연료전지 내부 물평형 향상으로 인한 연료극의 건조현상 방지, 전류밀도와 온도분

포 균일도 향상의 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 이 점은 MEA의 열화를 감소시켜 연료전지의 내구성 향상으로 인하여 시스템의 효율을 향상 시킬 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0080496).

참고문헌

1. F. Barbir, 'PEM Fuel Cells: Theory and Practice', Elsevier Academic Press (2005).
2. G. Marban and T. Valdes-Solis., 'Towards the hydrogen economy', *Int. J. Hydrogen Energy*, **32**, 1625-1637 (2007).
3. X. G. Li and I. Sabir., 'Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs', *Int. J. Hydrogen Energy*, **30**, 359-371 (2005).
4. J. H. Nam, K. J. Lee, S. Sohn, and C. H. Kim, 'Multi-pass serpentine flow-fields to enhance under-rib convection in polymer electrolyte membrane fuel cells: Design and geometrical characterization', *J. Power Sources*, **188**, 14-23 (2009).
5. M. V. Williams, H. R. Kunz, and J. M. Fenton., 'Operation of Nafion-based PEM fuel cells with no external humidification: influence of operating conditions and gas diffusion layers', *J. Power Sources*, **135**, 122-134 (2004).
6. J. Park, M. Matsubara, and X. Li., 'Application of lattice Boltzmann method to a micro-scale flow simulation in the porous electrode of a PEM fuel cell', *J. Power Sources*, **173**, 404-414 (2007).
7. S. Dutta, S. Shimpalee, and J. W. Van Zee., 'Numerical prediction of mass exchange between cathode and anode channels in a PEM fuel cell', *Int. J. Heat Mass Transfer*, **44**, 2029-2042 (2001).
8. T. Kanazaki, X. Li, and J. J. Baschuk., 'Cross-leakage flow between adjacent flow channels in PEM fuel cells', *J. Power Sources*, **162**, 415-425 (2006).
9. K. S. Choi, H. M. Kim, and S. M. Moon, 'Numerical studies on the geometrical characterization of serpentine flow-field for efficient PEMFC', *Int. J. Hydrogen Energy*, **36**, 1613-1627 (2011).
10. D. R. Lee, J. M. Bae, and D. Ahmed, 'Numerical study for the Effect of Inlet Humidity Condition at PEMFC Channel', *Trans. of the KSME(B)*, **30**(12), 1228-1235 (2006).
11. S. Shimpalee, S. Greenway, and J. W. Van Zee., 'The impact of channel path length on PEMFC flow-field design', *J. Power Sources*, **160**, 398-406 (2006).
12. D. H. Jeon, S. Greenway, S. Shimpalee, and J. W. Van Zee., 'The Effect of Serpentine Flow-Field Designs on PEM Fuel Cell Performance', *Int. J. Hydrogen Energy*, **33**, 1052-1066 (2008).
13. F. N. Büchi and G. G. Scherer, 'Investigation of the Transversal Water Profile in Nafion Membranes in Polymer Electrolyte Fuel Cells', *J. Electrochem. Soc.*, **148**, A181-188 (2000).
14. S. Shimpalee and J. W. Van Zee., 'Numerical study on rib and channel dimension of flow-field on PEMFC performance', *Int. J. Hydrogen Energy*, **32**, 842-856 (2007).