



유로형상에 따른 PEMFC 성능 변화

이완태^a, 브엉득틴^b, 김현철^{a,c,*}

Performance Change of PEMFC According to Flowfield

Wan Tae Lee^a, Duc Thinh Vuong^b, Hyun Chul Kim^{a,c,*}^a Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University^b Department of Mechanical Engineering, Kongju National University^c Green Car Technology Research Center, Hydrogen Energy Human Resources Development Group, Kongju National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	22	May	2024
Revised	28	June	2024
Accepted	8	July	2024

Keywords:

Fuel cell
PEMFC
Gas diffusion layer
Relative humidity
I-V curve
CFD

ABSTRACT

In this study, a performance comparison simulation according to the channel shape of a one-channel PEMFC was conducted using CFD. A simulation was conducted by changing the height and width of the channel. Furthermore, based on the I-V curve, it was confirmed that performance tends to increase as height decreases and width increases. Additionally, it was confirmed that the effect of the response area was greater than the effect of the channel area. Additionally, based on an additional performance comparison according to the porosity of the GDL and the relative humidity at the cathode, it was confirmed that the higher the porosity and relative humidity, the higher the performance.

1. 서론

전 세계적으로 지구온난화 및 이상 기후 등의 이유로 탄소 배출 저감에 대한 관심이 높아지는 가운데 석유 및 석탄 등 화석에너지의 대안으로 높은 효율과 환경오염 물질을 배출하지 않는 신재생 에너지에 대한 관심이 집중되고 있으며 태양열, 태양광, 바이오매스, 풍력, 연료전지에 관한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서도 높은 효율을 가진 수소를 연료로 화학적 에너지를 전기적 에너지로 변환할 수 있는 연료전지에 관한 관심이 높아지고 있다. 연료전지는 이온의 전도를 담당하는 전해질의 종류에 따라 크게, 고분자 전해질막 연료전지(polymer electrolyte membrane or proton exchanger membrane fuel cell, PEMFC), 인산 연료전지(phosphoric acid fuel cell, PAFC), 알칼리 연료전지(alkaline

fuel cell, AFC), 용융탄산염 연료전지(molten carbonate fuel cell, MCFC)와 같이 구분한다. 연료전지의 성능은 개방형 셀 전압과 전류밀도로써 표현가능하며, I-V Curve는 PEMFC에 3가지 주요 손실(농도 손실, 저항 손실, 활성화 손실)이 있음을 보여준다. 다양한 유로 형상을 설계하고 시뮬레이션 데이터로 생성된 I-V Curve를 통하여 유로형상에 따른 연료전지의 주요 손실을 명확하게 확인할 수 있다.

Fig. 1과 같은 구조를 갖는 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC)는 높은 변환 효율, 낮은 작동 온도, 제로 배출량, 모듈식 설치 및 빠른 응답 시간^[1-3] 등의 특성으로 인해 운송, 휴대용 전원 및 군사 장비에 대한 최적의 대체 전력원으로 널리 간주되는 화학적 전기 에너지 변환 장치이다.

이러한 우수한 특성을 가진 PEMFC의 성능을 향상시키기 위해

* Corresponding author. Tel.: +82-41-521-9273

E-mail address: khc@kongju.ac.kr (Kim Hyun Chul).

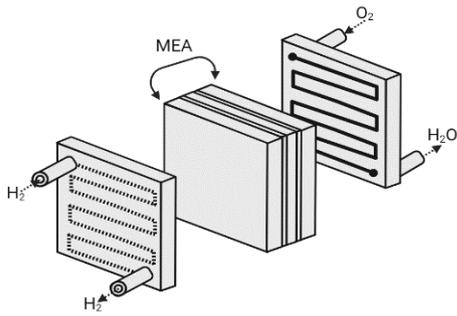


Fig. 1 Fuel cell schematic diagram

가스확산층(gas diffusion layer, GDL), 채널 내의 물 관리, 분리판(separator), 종횡비(aspect ratio)등을 이용한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. Kang jung ho등은^[4] 전극 침수(electrode flooding) 현상과 물 관리의 개선을 목표로 물의 모세관 전달 과정에 대한 실험을 진행하였으며, Jeong Hee Seok 등은^[5] 연료전지 체결 시 가스확산층의 체결 방향에 따른 실험을 통해 가스확산층과 채널이 수직 방향일 때 채널 침투가 상대적으로 적음을 확인하였다. Spemja등은^[6] Parallel, Serpentine, Interdigitated 유로에 따른 물 관리 특성에 관한 실험을 하였고, Parallel 유로의 경우 액적들의 분포가 무작위로 형성되며, Serpentine 유로의 경우 물이 유턴지역에서만 축적되며, Interdigitated 유로의 경우 물 분포가 균일하며 Serpentine 유로보다 더 높은 성능을 확인하였다. Hsieh 등은^[7] 다양한 유로에서 압력 하락이 연료전지의 수분 축적과 전류 분포에 미치는 영향에 대해서 실험을 진행하였고 수분 축적의 경우 공기의 유속 및 채널 유형에 의존적이며, 전류밀도의 경우 채널 유형, 압력 하락, 그리고 수분 축적이 상당히 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한 성형성을 높이고 전류밀도를 높이기 위한 기존의 그래파이트계 분리판을 대체할 다양한 재료들에 관한 연구도 수행되어왔다. 최근에는 금속계 분리판인 스테인리스 스틸 분리판에 내구성을 높이기 위한 코팅방법에 대한 연구도 활발히 진행중에 있다. Alishahi Mostafa 등은^[8] 분리판의 코팅 물성에 따른 성능 실험을 하였고, Ta/TaN 다층 코팅 SS의 높은 성능을 확인하였다. Zhang등은^[9] 분리판의 a-c 코팅에 대한 성능실험을 진행하였고, 낮은 계면 접촉 저항(interfacial contact resistance, ICR), 내부 응력의 특성을 갖는 것을 확인하였다.

2. 연료전지의 원리 및 구조, 지배방정식

2.1 연료전지의 원리

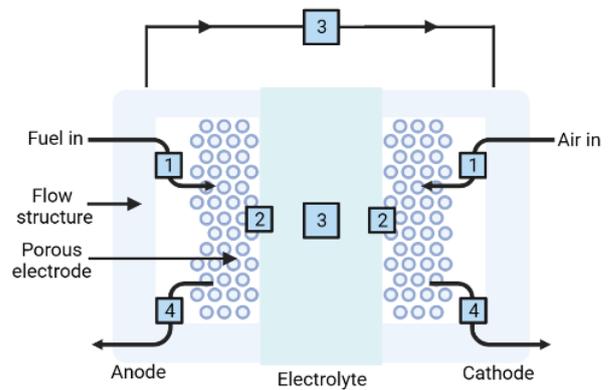


Fig. 2 Fuel cell electricity generation

연료극(anode)에서는 물질로부터 전자가 제거되는 과정인 산화반응이 발생하고, 공기극(cathode)에서는 물질로부터 전자가 첨가되는 과정인 환원반응이 발생하며, 전기와 물, 열이 발생한다.

연료전지에서의 반응을 Fig. 2를 통해 나타내었다. 1번 과정을 통해 반응물이 전달되고, 2번 과정을 통해서 전기화학적 반응이 일어나며, 3번 과정에서는 이온과 전자가 전도되며, 4번 과정을 통해 전기, 물, 열이 배출된다.

연료전지가 전류를 생성하기 위해서는 1번 과정에서의 반응물 전달이 지속적으로 공급되어야 한다. 반응물이 충분히 공급되지 않을 경우에는 연료전지가 작동하지 않게 되므로 반응물의 효율적인 전달을 위해서 공극률 구조인 가스확산층을 사용한다. 2번 과정인 전기화학 반응은 빠를수록 전류의 출력이 높고, 느릴수록 전류의 출력이 낮다. 따라서 전기화학적 반응의 속도와 효율을 증가시키기 위해 촉매를 사용한다. 3번 과정에서의 전자는 두 전극 사이의 전선을 통해 이동하며, 이온은 전자보다 크고 무겁기 때문에 전해질을 통하여 이동한다. 여기서 이온은 상당한 저항 손실을 수반할 수 있으며, 연료전지의 성능 저하로 이어진다. 4번 과정에서는 반응을 통해 만들어진 생성물이 배출된다.

2.2 연료전지의 구조

고분자 전해질 막 연료전지는 Fig. 3(a)와 같이 막전극집합체(membrane electrode assembly, MEA)를 중심으로 분리판(separator), 집전체(current collector)등으로 이루어져 있다.

분리판은 공기극에서 산소를, 연료극에서는 수소를 공급하는 통로로 활용된다. 집전체는 연료전지에서 생성된 전류를 흘려주며, 집전체의 형상을 최적화하여 성능을 높일 수 있다^[10].

막전극집합체는 멤브레인을 중심으로 가스켓(gasket), 촉매층(catalyst layer), 가스확산층등으로 구성되며, 막전극집합체 전극의 단부는 가스 누설에 취약하므로 가스켓으로 밀봉한다. 이러한 가스켓의 화학적, 기계적 안정성과 내구성은 밀봉재로서의 기능뿐만 아니라 전기화학적 성능에도 영향을 미친다^[11].

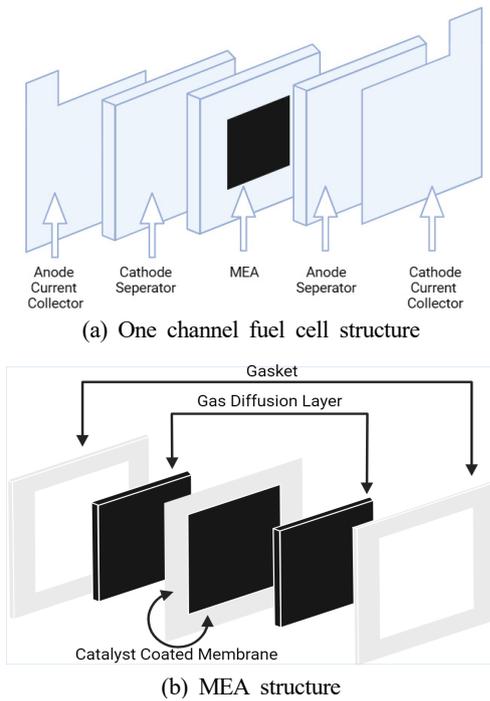


Fig. 3 One channel fuel cell structure and MEA structure

2.3 PEMFC의 지배방정식

PEMFC내부에서는 질량 보존 방정식(mass conservation equation), 운동량 보존 방정식(momentum conservation, Species conservation), 에너지 보존 방정식(energy conservation), 전하 보존 방정식(charge conservation), 전기화학적 반응(electrochemical reaction)등의 전기화학 반응 및 유체 유동을 만족하여야 한다. 질량 보존방정식은 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon\rho) + \nabla \cdot (\epsilon\rho U) = 0 \tag{3}$$

식 (3)에서 ρ , U , ϵ 는 각각 연료전지 내의 유체밀도와 속도 벡터, 공극률을 나타내며, 단위 부피 내의 질량 변화량은 주어진 시간 동안 들어오고 나간 모든 질량의 합과 같다는 것을 의미한다. 운동량 보존 방정식은 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon\rho U) + \nabla \cdot (\epsilon\rho U U) = -\epsilon \nabla p + \nabla \cdot (\epsilon \zeta) + \frac{\epsilon^2 \mu U}{\kappa} \tag{4}$$

식 (4)에서 ζ , μ , κ 는 각각 전단 응력 텐서와 유체의 점성, 투과도를 나타내며, 연료전지 내 유체의 압력 분포를 얻을 수 있다. 화학종 보존 방정식은 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon\rho X_i) + \nabla \cdot (\epsilon\rho U X_i) = \nabla \cdot (\rho D_i^{eff} \nabla X_i) + \dot{S}_i \tag{5}$$

식 (5)는 유체 혼합물 내의 개별적인 화학종의 생성과 소모와

같은 각각의 움직임을 나타낸다.

에너지 보존 방정식은 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\epsilon\rho h) + \nabla \cdot (\epsilon\rho U h) = \nabla \cdot q + \epsilon \frac{dp}{dt} - j\eta + \frac{i \cdot i}{\sigma} + \dot{S}_h \tag{6}$$

식 (6)은 연료전지의 열평형을 나타내며, q 는 유효열전도도를 의미한다.

전하 보존 방정식은 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla \cdot i_{e \leq c} = -\nabla \cdot i_{ion} = j \tag{7}$$

식 (7)은 Ohm의 법칙을 기반으로 특정 위치에서의 전류밀도를 구할 수 있다.

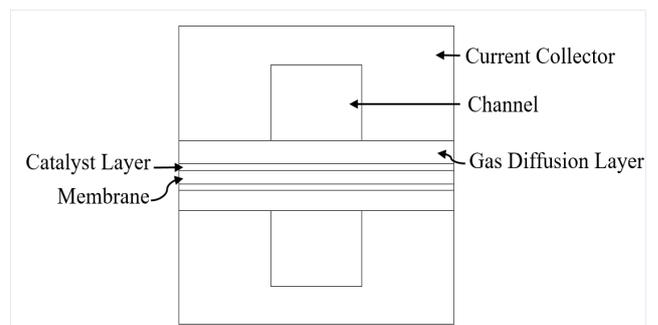
전기화학적 반응은 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$j = j_0 \left[\frac{c_R^*}{c_R^{0*}} \exp\left\{ \frac{n\alpha F}{RT} \eta \right\} - \frac{c_R^*}{c_R^{0*}} \exp\left\{ \frac{-n(1-\alpha)F}{RT} \eta \right\} \right] \tag{8}$$

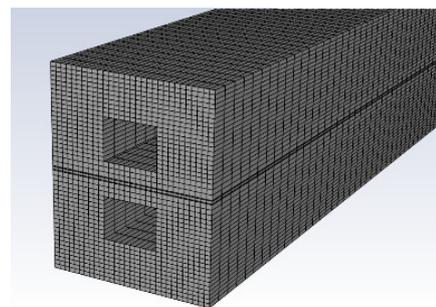
식 (8)은 Butler-Volmer 방정식이며, 연료전지의 촉매층 내에서 전하 전달 반응 과정의 변화를 의미한다.

3. 해석 모델

해석 모델은 Design modeler를 통하여 제작하였고, Fig. 4와



(a) Fuel cell structure



(b) Mesh

Fig. 4 One channel PEMFC model and mesh

Table 1 Geometric details of the single-channel model

Description	Value	Unit
Channel length	125	mm
Channel height	0.5 – 0.9	
Channel width	0.5 – 0.9	
Gas diffusion layer thickness	0.21	
Catalyst layer thickness	0.012	
Membrane thickness	0.036	

Table 2 The model boundary conditions

Parameter	Value	Unit
Anode mass flow rate inlet	1.9889e-07	Kg/s
Cathode mass flow rate inlet	2.46e-06	Kg/s
Anode H ₂ mass fraction	0.313	-
Anode H ₂ O mass fraction	0.687	-
Cathode O ₂ mass fraction	0.202	-
Cathode H ₂ O mass fraction	0.132	-
Relative humidity anode/cathode	100%	-
Anode/Cathode temperature	60	°C

같다. 해석의 정확도를 높이기 위해 약 700,000개의 격자를 생성하였다. 모델의 관한 매개변수(parameter)와 경계조건(boundary condition)은 Table 1과 2에 표기하였다.

3.1 성능검증

시뮬레이션 모델을 검증하기 위해 실제 실험 데이터와 동일한 기하학적 매개변수를 설정하고 실험 데이터를 비교하였다. 실험 모델의 작동조건은 1기압, 70°C이며, 성능 검증 결과 실험과 시뮬레이션 모델의 검증오차는 5% 미만이다^[12,13]. 따라서 시뮬레이션에 사용한 모델이 기하학적 디자인 개발을 위한 기본 모델로 활용될 수 있음을 증명한다.

3.2 높이와 폭에 따른 영향 분석

3.2.1 높이에 따른 영향 분석

PEMFC의 성능에 대한 다양한 채널 높이의 영향을 평가하기 위해 채널의 높이를 0.5 mm에서 0.9 mm까지 0.1 mm씩 증가시키면서 수치적으로 시뮬레이션을 진행하였다. 채널의 높이가 증가함에 따라 가스 유로의 단면적 증가로 인해 압력 강하가 감소하여 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 또한 출구의 물 배출이 용이하지 않아 성능이 감소하는 것으로 사료된다.

특히 높은 전류밀도에서 더욱 명확하게 성능저하가 관찰되는데, 이는 높이가 증가할수록 반응물인 O₂가 반응층에 도달하기 더 어려워지며, 출구 쪽의 물이 제거되지 못하고 축적되어 반응가스의 이동을 방해하는 것으로 보인다. 0.5 V에서 0.4 V까지의 전압에서

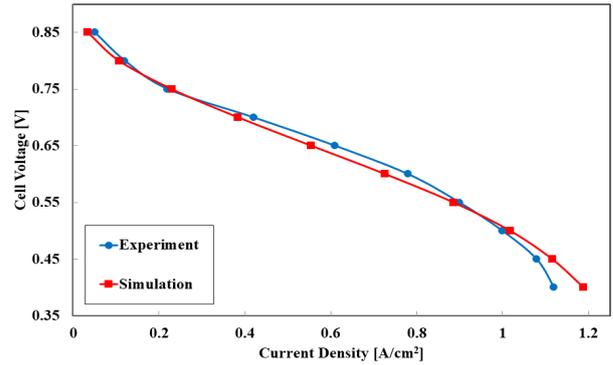
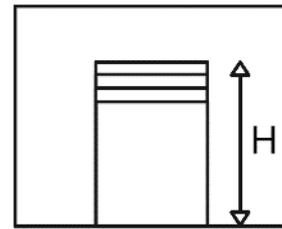
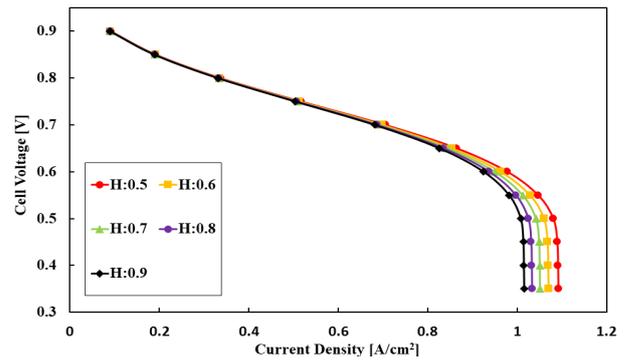


Fig. 5 Performance validation



(a) Change the height variable



(b) Height I-V curve

Fig. 6 Difference of height and I-V curve

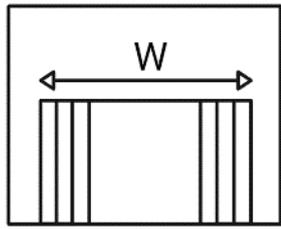
는 반응물의 흐름이 입구에서 출구로 빠르게 흘러 많은 양의 반응물이 손실되기 때문에 성능이 저하되는 경향이 있다.

3.2.2 폭에 따른 영향 분석

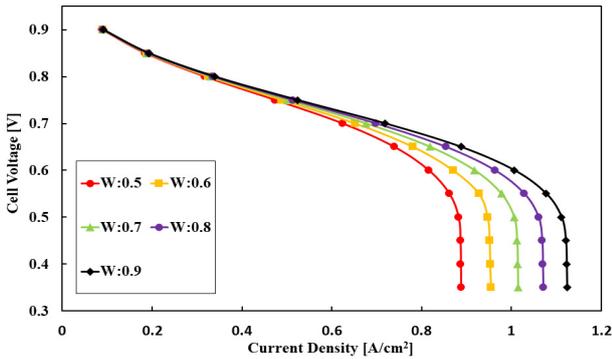
PEMFC의 성능에 대한 다양한 채널 폭의 영향을 평가하기 위해 채널의 폭을 0.5 mm에서 0.9 mm까지 0.1 mm씩 증가시키면서 수치적으로 시뮬레이션을 진행하였다. 유로의 폭이 증가할수록 연료전지의 성능은 증가하는 경향을 보였고, 높이가 변할 때 보다 더 큰 영향을 보여주었다. 채널의 폭이 증가함에 따라 가스확산층과 반응하는 면적이 증가하여 전류 밀도가 높아지는 것으로 보인다. 또한 채널의 면적이 증가하게 되면 유속이 감소하지만 그 영향은 반응 면적을 늘리는 것만큼 크지 않음을 알 수 있다.

3.2.3 가스확산층 공극률에 따른 영향 분석

H:0.8, W:0.6의 채널을 가진 PEMFC의 연료극과 공기극의 가



(a) Change the width variable



(b) Width I-V curve

Fig. 7 Difference of width and I-V curve

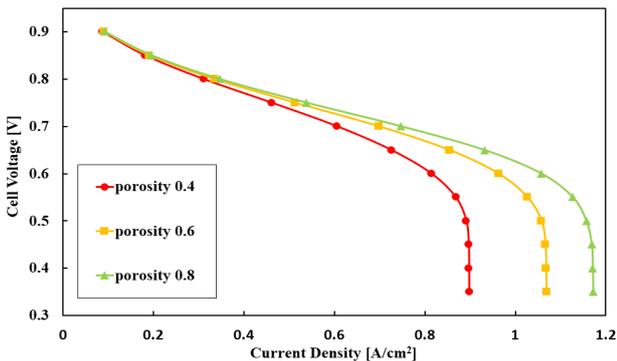


Fig. 8 Difference of porosity I-V curve

스확산층 공극률을 동일하게 0.4, 0.6, 0.8로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였고, 결과는 공극률이 클수록 더 높은 전류밀도를 보였다. 이러한 이유는 공극률이 증가하면 가스확산층 구조에 더 많은 기공이 나타나고 가스를 촉매층으로 확산시키는 능력이 증가하며, 촉매층과 채널 사이의 장벽 저항이 감소하여 연료전지의 성능이 향상되는 것으로 판단된다.

3.2.4 상대습도에 따른 영향 분석

H:0.8, W:0.8 채널의 PEMFC에서 캐소드 입구의 상대습도를 20~100%까지 20%씩 증가시켜가며 시뮬레이션을 통해 성능 변화를 평가하였다. 상대습도가 증가할수록 연료전지의 성능이 저하되는데, 특히 전류밀도가 높아질수록 성능 저하가 크게 일어나는 것을 확인할 수 있다. 이는 연료전지의 반응을 통해 생성된 물의 배출이 원활하지 않을 경우 촉매층으로 전달되는 반응가스의 확산

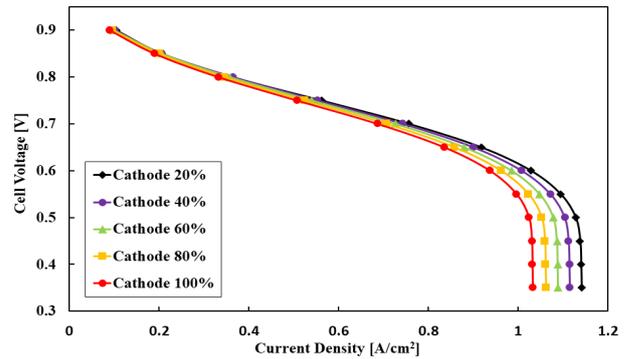


Fig. 9 Difference of relative humidity I-V curve

이 제한돼 연료전지의 성능이 급격히 저하되는 플러딩(flooding) 현상이 발생하는 것으로 보인다. 효율적인 물 배출을 위한 유로 및 가스확산층의 설계가 연료전지의 성능에 중요함을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 채널의 폭과 높이에 따른 PEMFC의 성능을 평가하였다. 채널의 높이를 증가시킬수록 가스 유로의 단면적증가로 압력강하가 감소하여 성능이 감소하였으며, 채널의 폭을 증가시켰을 경우에는 가스확산층과의 반응면적이 증가하여 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 또한, 선행연구를 바탕으로 가스확산층의 공극률과 캐소드에서의 상대습도가 성능에 미치는 영향을 평가하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 가스확산층의 공극률이 증가할수록 가스를 촉매층으로 확산시키는 능력이 증가하여 성능이 향상되었고, 캐소드에서의 상대습도를 증가시킨 경우에는 캐소드에서의 수분 함량이 증가함에 따라 기공을 막아 반응 가스의 양을 감소시켜 성능이 저하되었다. 성능향상은 대부분 고전류 밀도에서 캐소드 반응의 높은 효율과 관련이 있고, 0.6 V에서 0.45 V의 저전압에서의 전류밀도의 향상은 O₂가 GDL로 확산되고 생성된 물이 제거되는 능력을 보여준다.

이러한 시뮬레이션 결과는 기본이 되는 단채널 셀의형상 치수, 공극률, 상대습도를 최적으로 설정하여, 다채널 셀을 설계하고 평가하는데 활용될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2021R111A3048752)과 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-004). 또

한, 본 연구는 2024년도 산업통상자원부와 충청남도의 재원으로 한국산업기술진흥원과 충남테크노파크의 지원을 받아 수행된 연구입니다(G02F11412059811).

References

- [1] Lü, X., Qu, Y., Wang, Y., Qin, C., Liu, G., 2018, A Comprehensive Review on Hybrid Power System for PEMFC-HEV: Issue and Strategies, *Energy Conv. Manag.*, 171 1273-1291, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.065>.
- [2] Jiao, K., Li, X., 2011, Water Transport in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 37:3 221-291, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.06.002>.
- [3] Yueqi, L., Kui, J., 2018, Cold Start of Proton Exchange Membrane Fuel Cell, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 64 29-61, <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.10.003>.
- [4] Kang, J. H., Lee, S. H., Nam, J. H., Kim, H. M., 2020, Pore Network Analysis of Capillary Water Transport in Porous Transport Layer of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, 44:10 591-602, <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2020.44.10.591>.
- [5] Jeong, H. S., Kim, J. I., Lee, S. H., Lim, C. H., Ahn, B. K., Kim, C. J., 2012, Analysis of Mass Transport in PEMFC GDL, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, 36:10 979-988, <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.10.979>.
- [6] Spornjak, D., Prasad, A. K., Advani, S. G., 2010, In Situ Comparison of Water Content and Dynamics in Parallel, Single-serpentine, and Interdigitated Flow Fields of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells, *J. Power Sources*, 195:11 3553-3568, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.12.031>.
- [7] Hsieh, S. S., Her, B. S., Huang, Y. J., 2011, Effect of Pressure Drop in Different Flow Fields on Water Accumulation and Current Distribution for a Micro PEM Fuel Cell, *Energy Conv. Manag.*, 52:2 975-982. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.08.025>.
- [8] Alishahi, M., Mahboubi, F., Mousavi Khoie, S. M., Aparicio, M., Hübner, R., Soldara, F., Gago, R., 2016, Electrochemical Behavior of Nanocrystalline Ta/TaN Multilayer on 316L Stainless Steel: Novel Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel-cells, *J. Power Sources*, 322 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.133>.
- [9] Zhng, D., Yi, P., Peng, L., Lai, X., Pu, J., 2019, Amorphous Carbon Films Doped with Silver and Chromium to Achieve Ultra-low Interfacial Electrical Resistance and Long-term Durability in the Application of Proton Exchange Membrane Fuel Cells, *Carbon*, 145 333-344, <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.01.050>.
- [10] Kuan, Y. D., Lyu, J. L., Ke, T. R., Sung, M. F., Do, J. S., 2019, Planar Current Collector Design and Fabrication for Proton Exchange Membrane Fuel Cell, *Int. J. Hydrog. Energy*, 44:20 10071-10081, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.178>.
- [11] Tan, J., Chao, Y. J., Yang, M., Lee, W. K., Van Zee, J. W., 2011, Chemical and Mechanical Stability of a Silicone Gasket Material Exposed to PEM Fuel cell e=Environment, *Int. J. Hydrog. Energy*, 36:2 1845-1852, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.12.048>.
- [12] Li, H. , Xu, B., Lu, G. L., Du, C. H., Huang, N., 2021, Multi-objective Optimization of PEM Fuel Cell by Coupled Significant Variable Recognition Surrogate Models and a Multi-objective Genetic Algorithm, *Energy Conv. Manag.*, 236 114063, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114063>.
- [13] Wang, L., Husar, A., Zhou, T., Liu, H., 2003, A Parametric Study of PEM Fuel Cell Performances, *Int. J. Hydrog. Energy*, 28:11 1263-1272, [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(02\)00284-7](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(02)00284-7).
- [14] Pan, W., Chen, X., Wang, F., Dai, G., 2021, Mass Transfer Enhancement of PEM Fuel Cells with Optimized Flow Channel Dimensions, *Int. J. Hydrog. Energy*, 46:57 29541-29555, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.105>.
- [15] Carcadea, E., Ismail, M. S., Ingham, D. B., Patularu, L., Schitea, D., Marinoiu, A., Ion-Ebrasu, D., Mocanu, D., Varlam, M., 2021, Effects of Geometrical Dimensions of Flow Channels of a Large-active-area PEM Fuel Cell: A CFD Study, *Int. J. Hydrog. Energy*, 46:25 13572-13582, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.150>.
- [16] O'Hayre, R., Cha, S. W., Collela, W., Prinz, F. B., 2006, *Fuel Cell Fundamentals*, Wiley, NJ, U.S.A..
- [17] Larminie, J., Dicks, A., 2006, *Fuel Cell Systems Explained* (2nd ed.), Wiley, West Sussex, U.K..
- [18] Jo, S. H., Kim, J. B., 2022, A Numerical Study of Cathode Block and Air Flow Rate Effect on PEMFC Performance, *Appl. Chem. Eng.*, 33:1 96-102, <https://doi.org/10.14478/ace.2022.1002>.
- [19] Rosil, N. A. H., Loh, K. S., Wong, W. Y., Yunus, R. M., Lee, T. K., Ahmad, A., Chong, S. T., 2020, Review of Chitosan-Based Polymers as Proton Exchange Membranes and Roles of Chitosan-Supported Ionic Liquids, *Int. J. Mol. Sci.*, 21:2 632, <https://doi.org/10.3390/ijms21020632>.

	<p>Wan Tae Lee B.S. Candidate in the Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University. His research interest is Fuel Cell and Applications. E-mail: dldhksxo1234@gmail.com</p>
	<p>Duc Thinh Vuong Ph.D. Candidate in the Department of Mechanical Engineering, Kongju National University. His research interest is Machine and Simulation. E-mail: vuongthinbkb@gmail.com</p>
	<p>Hyun Chul Kim Professor in the Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University. His research interest is CAD/CAM and Precision Machining. E-mail: khc@kongju.ac.kr</p>