

유전자 알고리즘을 이용한 고분자 전해질 연료전지 최적화 설계

양우주* · 왕홍양* · 이대형** · 김영배*†

* 전남대학교 기계공학과, ** 옵티카 주식회사 연구소

PEMFC Optimization Design Using Genetic Algorithm

Woo-Joo Yang*, Hong-Yang Wang*, Dae-Hyung Lee** and Young-Bae Kim*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

** Optika Corporation R&D

(Received June 23, 2014 ; Revised August 1, 2014 ; Accepted August 23, 2014)

Key Words: PEMFC(고분자 전해질 연료전지), 3D Model(3차원 모델), GDL(가스 확산층), Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), CFD(전산 유체역학)

초록: 본 논문은 고분자 전해질 연료전지 해석 방법과 유전자 알고리즘을 결합하여 연료전지 유로 최적화를 이끌어 내는 방법을 연구한다. 종래의 해석 방법은 연료전지를 하나씩 설계하여 해석 결과를 비교하였다. 하지만, 경계조건과 물성치를 설정하는 부분, 메시 작성 작업 등 많은 시간이 소요되며, 정확성 또한 떨어져서 비효율적이다. 본 논문에서 제안하는 유전자 알고리즘을 사용하면 자동으로 채널 구조에 변화를 줄 수 있어서 다양한 크기의 연료전지 해석 결과를 얻을 수 있다. 이는 최적화 과정을 통해 최대 성능의 결과를 알 수 있게 되며, 해석 결과 값에 따라 최적의 채널 구조를 찾을 수 있다.

Abstract: This paper presents a method for finding an optimized result by using a genetic algorithm (GA) based on a PEMFC analysis result. The conventional analysis method designs fuel cells one-by-one, and each result is compared to obtain the best performance. Because the computational burden of the conventional analysis is enormous, the present optimization process provides an inefficient tool by automatically setting the boundary and material properties and mesh generation. As the change can be reflected automatically in the channel geometry with GA, the fuel cell analysis result with various sizes can be obtained easily. Therefore, the global maximum performance can be obtained through a GA optimization procedure.

- 기호설명 -

A	: 면적 (m ²)	M_i	: 몰 질량 (kg/mol)
c_i	: 몰 분율 (mole/m ³)	p	: 압력 (Pa)
D	: 확산 계수 (m ² /s)	R	: 기체 상수, 8.314 (J/(K·mol))
F	: 패러데이 상수, 96487 (C/mol)	Sa	: 비표면적 (1/m)
i_a	: 연료극 국부 전류밀도 (A/m ²)	T	: 온도 (K)
i_c	: 공기극 국부 전류밀도 (A/m ²)	u	: 속도 벡터 (m/s)
$i_{o,a}$: 연료극 교환 전류밀도 (A/m ²)	V_{cell}	: 셀 작동 전압 (V)
$i_{o,c}$: 공기극 교환 전류밀도 (A/m ²)	x	: 몰 분율
		ϵ	: 다공성
		κ	: 투과성 (m ²)
		η	: 과전위 (V)
		ρ	: 밀도 (kg/m ³)
		ω	: 질량 분율

† Corresponding Author, ybkim@chonnam.ac.kr

1. 서론

대체에너지의 일환으로 각광받고 있는 연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기 화학적 반응을 일으켜 직접 전기로 변환시키는 장치이며, 연료를 공급하는 한 계속 전기를 발생시키며 다른 변환 에너지보다 월등한 효율을 가지고 있다. 그 중에서 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC)는 작동 온도가 낮고, 높은 효율과 안정성의 장점을 갖추고 있어 자동차 및 소규모 발전용으로 사용하기에 알맞으며, 전기화학반응으로 물과 열만 배출하기 때문에 매우 친환경적인 에너지 대체 수단이다. 이러한 장점 때문에 많은 연구자들은 연료전지 성능을 개선시키기 위해 다양한 방법을 사용하여 연구를 진행하고 있다.

다양한 방법으로 연료전지의 성능 개선을 위한 연구가 진행되어 왔는데, Shimpalee 등은 PEMFC 성능을 개선시키기 위해 흑연(graphite), 스테인리스강(stainless steel), 티타늄(Ti)을 전극판 재료로 사용하여 드래프트 각도를 높이면 열 관리문제가 악화되어 낮은 성능을 나타냄을 보였으며 실험결과와 Star-CD 프로그램을 사용하여 3차원 해석결과를 비교하였다.⁽¹⁾ Ferng 등은 PEMFC 성능을 비교하기 위해 흑연을 전극판 재료로 사용하고 serpentine과 parallel 형태로 설계한 뒤 분극곡선을 비교하여 serpentine 형태의 전극판을 사용했을 때 높은 성능을 나타내는 실험결과와 CFDRC 프로그램을 사용하여 3차원 해석결과를 비교하였다.⁽²⁾ Shi 등은 입구와 근접한 채널과 채널사이의 위치에서 압력 강하 현상이 최대 155% 차이가 발생하는 결과를 밝혔고, 가스 확산층(GDL)의 변형을 고려하지 않으면 실제 값보다 높게 예측하는 연료전지 성능을 얻을 수 있음을 Comsol Multiphysics 프로그램을 사용하여 3차원으로 해석하였다.⁽³⁾ Baek 등은 고분자 전해질 연료전지에서 3가지 형태의 사형채널과 각각 다른 투과성을 갖는 가스 확산층을 적용하여 STAR-CD 프로그램으로 해석하였다. 가스 확산층의 투과성이 증가하면 전극 영역으로 전류밀도가 이동하여 성능 향상이 이루어짐을 나타내었다.⁽⁴⁾ Bang 등은 유전자 알고리즘을 사용하여 미세유로채널을 최적화하는 방법을 연구하였다. 이들은 마이크로 크기의 칩을 설계할 때 유전자 알고리즘을 사용하면 보다 향상된 성능을 얻을 수 있음을 나타내었

다.⁽⁵⁾ 이동섭은 연료전지 하이브리드 시스템을 모델링하고 유전자 알고리즘을 사용하여 최적화된 제어로 연비향상 효과를 확인하였다.⁽⁶⁾ Catlin 등은 Fluent 프로그램을 통하여 유전자 알고리즘을 사용한 채널 구조 최적화에 대해 연구하였다. 그러나 유전자 알고리즘의 가능성만을 연구하여 그 결과는 충분히 다루어지지 않았다.⁽⁷⁾ Carcadea 등은 Fluent 프로그램을 통하여 SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations Consistent) 알고리즘을 기반으로 PEMFC 성능을 해석하였다. 그 결과 optimum permeability(10^{-12} to 10^{-10}) 범위에서 PEMFC 성능이 높은 결과를 얻었다.⁽⁸⁾ Chang은 유전자 알고리즘과 다구찌 기법을 사용하여 변수 최적화 결과를 얻었다. 다구찌 기법을 함께 사용한 유전자 알고리즘 모델은 다구찌 기법을 사용하지 않은 BPNN 모델과 GANN 모델보다 정확한 방법임을 절대 오차 값으로 증명하였다.⁽⁹⁾ Ohenoja 등은 연료전지 모델에서 유전자 알고리즘이 최적화하기에 좋은 도구임을 입증하였다. SSE(Squared Sum of the Error) 식을 이용하여 변수를 최적화 할 수 있음을 보였다.⁽¹⁰⁾

기존 유전자 알고리즘 연구자가 알고리즘을 실행하는 프로그램의 도구로만 사용을 했다면, 본 연구팀은 채널과 전극의 구조를 변형하여 연료전지가 최적의 성능을 나타내는 비율을 찾기 위해 노력하였다. 미리 최소 최대의 변수를 설계하여 해석 시간을 상대적으로 줄였고, 지역 최저점에 빠지는 문제를 사전에 방지하였다.

본 논문에서는 Matlab 환경을 기반으로 GA tool을 이용하여 해석 데이터를 최적화 시켰다. Comsol Multiphysics 프로그램은 Matlab 프로그램과 연동할 수 있는 기능이 자체적으로 내장되어 있다. 이러한 연동 환경을 기반으로, 처음 설계하여 해석에 성공한 모델은 채널과 전극의 폭을 설계변수(Design Variables)로 설정하고, 구조를 편집하면 실시간으로 다른 형상의 모델을 해석할 수 있다. 이러한 기능을 이용하면, 모델을 설계하여 만들어 낼 때마다 물성 값을 입력해야하는 번거로움을 피할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)

수소 연료전지의 이론적인 무손실 전압은 약 1.2V이다. 하지만 실제로 동작시켜보면 이론 전

압보다 20%정도 낮은 전압에서 최대 전압이 측정된다. 이러한 전압강하 현상은 활성화 손실, 연료 교차현상, 저항 손실, 그리고 농도 손실 때문인 것으로 알려져 있다.⁽¹¹⁾

전류밀도는 연료전지 성능을 결정하는 중요한 역할을 한다. 연료전지 반응이 일어나면 전해질을 사이에 두고 양방향으로 전자의 흐름이 원활하게 이동하게 되는데 이를 교환전류밀도라 정의한다. 교환전류밀도 값이 클수록 전류의 흐름이 커지고 전극 표면이 활성화되어 성능은 더욱 향상된다. 하지만 교환전류밀도를 직접 측정하기는 매우 어렵기 때문에 일반적으로 전기가 잘 통하면서 가공하기 쉬운 재료를 선택해야 한다.

연료전지 재료로 사용하기 위해서는 기계적 특성, 전기적 특성 그리고 안정성 등을 고려한 설계 과정이 필요하다. 이 중에서 분리판 재료는 전기전도성이 높을수록 저항에 의한 손실을 줄일 수 있다. 현재까지는 금으로 도금된 재료를 사용했을 때 가장 성능이 좋다고 알려져 있으나 가격이 비싸기 때문에 경쟁력이 떨어지므로 주로 열경화성 수지를 함침(impregnation)시켜서 제작한 카본이나 일반 메탈 소재를 이용한 분리판을 설계하여 제작하고 있다.⁽¹²⁾

PEMFC에서는 채널 패턴을 어떻게 하느냐에 따라 활성 면적의 반응분포에 큰 영향을 준다. 또한, 정해진 면적 안에서 연료전지의 성능을 최대로 이끌어내기 위해서는 반응에 필요한 gas와 전극의 적절한 배치가 요구되며, 오랜 시간 일정한 성능을 유지하기 위해서는 막의 젖음성(permeability)이 중요하다. 고온 가습 조건에서는 플로딩(flooding) 현상이 자주 발생하여 성능 저하를 일으키고, 저온 가습 조건에서는 수소의 크로스 리크 현상으로 인한 막의 열화를 재촉시켜 안정된 실험 결과를 얻기 어렵다. 이 때문에 연료전지에서는 화학 반응이 발생하는 동안 연료와 공기를 적절히 가습시켜서 막의 젖음성을 일정하게 유지시킬 필요가 있다.

2.2 유전자 알고리즘(GA)

유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 구동하기 위해서는 Fig. 1과 같은 과정이 필요하다. 유전자 알고리즘에 적용할 변수는 경계조건 안에서 자유롭게 생성할 수 있다. 초기에 생성하는 변수는 단지 개체로서의 역할만을 담당하며, 이후에 우

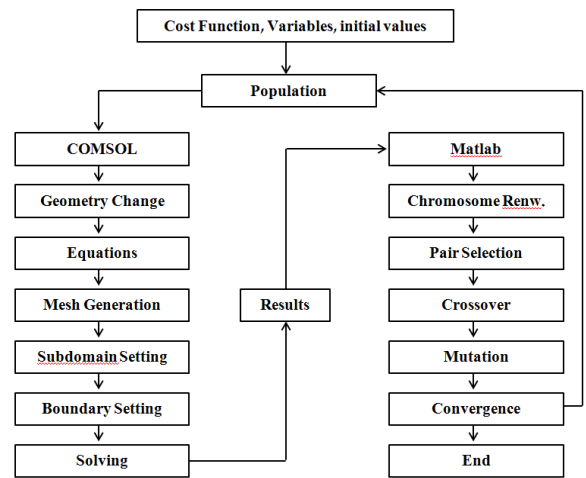


Fig. 1 Optimization process using COMSOL and Matlab

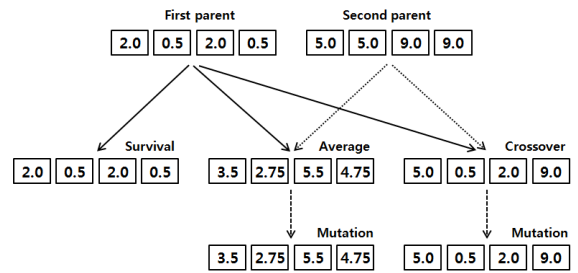


Fig. 2 Principles of GA after selection showing survival, average, crossover and mutation

수한 유전자를 생성하기 위한 매개체로 사용된다. 이후로는 지정된 경계조건 안에서 변수들 서로 조합해가며 보다 나은 유전자를 가진 변수가 다음 세대에 살아남게 된다.

변수를 생성하기 위한 방법으로는 확률 변수(random variable), 룰렛(roulette), 토너먼트(tournament) 등이 있다. 변수가 생성되면 같은 세대 안에서 여러 변수가 교차(crossover) 과정을 거쳐 가며 교배를 통해 다음 세대를 생성한다.

Fig. 2는 유전자 알고리즘이 최적화 구조 데이터를 찾아가는 과정을 나타내는 모습이다. 교차 과정을 통해 다음세대까지 살아남지 못한 변수는 직접적으로 변이(mutation)를 일으켜서 전체 세대가 지역 최저점(local minimum)에 빠지지 않게 도와주기도 한다.

최적화 구조 데이터는 Table 1에 나타내었다. 개체(population) 수는 20개로 지정했으며, 세대를 거듭하면서 우수 유전자가 끝까지 살아남게 되면

Table 1 Parameters of the genetic algorithm

Parameter	Value
Population size, N	20
Generations	50
Survival probability	0.5
Average probability	0.33
Crossover probability	0.17
Mutation probability	0.5

Table 2 Design variables

	Minimum	Maximum
x(1)	2.0 mm	5.0 mm
x(2)	0.5 mm	5.0 mm
x(3)	2.0 mm	9.0 mm
x(4)	0.5 mm	9.0 mm

최적의 결과 값에 가까워질 수 있게 된다.

수렴이 일찍 이루어진 것은 그리 중요한 것이 아니다. 변수는 랜덤하게 지정되어 결과 값을 찾아가므로 우연히 최적데이터에 가까운 값이 선정되면 그만큼 확률적으로 많은 세대를 거치지 않고도 최적 값에 도달할 수 있기 때문이다.

3. 연료전지 모델링

3.1 2차원 연료전지 모델링

본 연구에서는 PEMFC에서 채널과 전극이 동일한 위치에 놓인 정방향(normal direction)과, 교차된 위치에 놓인 역방향(reverse direction)을 설계하였고 이들을 Fig. 3에 나타내었다. 변수가 적용되는 부분은 채널과 전극 부분으로 되어있고, 초기 비율은 1:1로 설계하였다.

전기 화학 반응을 잘 일으키기 위해 공기극과 연료극의 흐름을 반대방향으로 설정하였다. Table 2에 나타난 설계변수는 해석 결과 값이 수렴하는 최소 최대 범위 내에서 선정되어 무작위로 생성되며, 최대 범위는 전체 길이보다 작아야만 결과 값이 수렴한다.

3.2 반응식

연료전지의 기본 전기화학 반응은 연료극

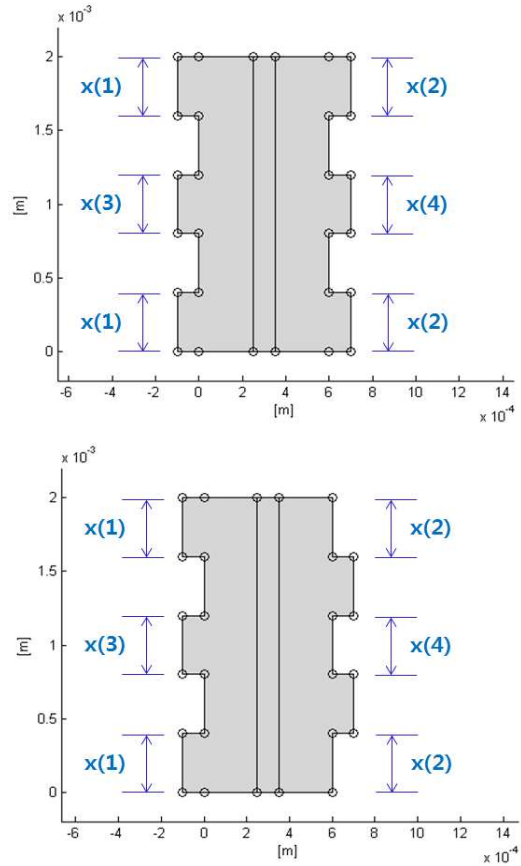
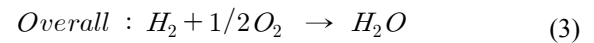
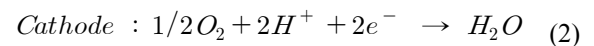
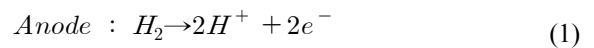


Fig. 3 2D geometry of normal direction(up) and reverse direction(down)

(anode)과 공기극(cathode)에서 동시에 일어난다. 연료극은 수소의 전기화학적 산화(oxidation), 공기극은 산소의 전기화학적 환원(reduction)이 일어나며 이때 전자가 이동하여 전기에너지가 발생된다. 반응식은 다음과 같다.



4. 지배 방정식

전산유체해석은 질량, 운동량, 에너지보존 법칙을 기본으로 적용하며, 이는 여러 변수를 갖는 연립 비선형 편미분 방정식으로 이루어져 있다.

4.1 전극(Electrodes)

전극에서 전기 전하량 보존 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (-\sigma_s^{eff} \nabla \phi_s) = 0 \quad (4)$$

여기서 σ_s^{eff} 는 유효전도도이고, ϕ_s 는 전극에서의 전위이다.

4.2 막(Membrane)

막을 통한 기체의 통과는 무시한다고 가정하였으므로 전기전하량 보존 방정식만 다음과 같이 적용한다.

$$\nabla \cdot (-\sigma_m^{eff} \nabla \phi_m) = 0 \quad (5)$$

여기서 σ_m^{eff} 는 유효전도도이고, ϕ_m 는 전극에서 전위이다.

4.3 채널(Channel)

채널에서는 전기화학반응이 발생하지 않고 유동과 확산 반응이 일어난다. 따라서 연속방정식, Navier-Stokes 방정식이 적용되고, 기체상태의 질량 유동은 Maxwell-Stefan 방정식이 적용된다.

$$\nabla \cdot \eta(\nabla u + (\nabla u)^T) = -\rho(u \cdot \nabla u) - \nabla p \quad (6)$$

$$\nabla \cdot \rho u = 0 \quad (7)$$

$$\rho u \nabla \omega_i - \nabla \cdot (\rho \omega_i \sum_{j=1}^N (D_{ij} \nabla x_j + (x_j - x_i) \frac{\nabla p}{p})) = R_i \quad (8)$$

4.4 가스 확산층(GDL)

채널과 막 사이의 전류흐름은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (-\sigma_s^{eff} \nabla \phi_s) = S_a \cdot i_{ict} \quad (9)$$

$$\nabla \cdot (-\sigma_m^{eff} \nabla \phi_m) = S_a \cdot i_{ict} \quad (10)$$

가스 확산층에서 부분적인 전류 밀도 분포를 나타내기 위해 Butler-Volmer 방정식을 사용하였다. 이는 연료극과 공기극의 전류밀도 분포를 나타낸다.

$$i_{a,c} = i_{0,a} x_{h2} \frac{c_t}{c_{h2,ref}} \left[\exp\left(\frac{0.5F}{RT} \eta\right) - \exp\left(-\frac{0.5F}{RT} \eta\right) \right] \quad (11)$$

$$i_{c,c} = i_{0,c} \left[\exp\left(\frac{0.5F}{RT} \eta\right) - x_{O2} \frac{c_t}{c_{O2,ref}} \exp\left(-\frac{0.5F}{RT} \eta\right) \right] \quad (12)$$

여기에서 $i_{0,a}$ 와 $i_{0,c}$ 는 연료극과 공기극의 변환 전류 밀도이고 η 는 활성 과전압으로 아래와 같이 정의된다.

$$\eta = \phi_m - \phi_s - \phi_{eq} \quad (13)$$

가스 확산층에서는 다공층 내의 유체 유동과 확산에 관련된 반응물의 속도와 내부 압력변화를

결정하기 위해 Darcy's law 방정식이 사용된다.

$$\left(\frac{\kappa}{\mu} \nabla p\right) + u = 0 \quad (14)$$

위 방정식에서 u 는 속도, η 는 기체 점도, κ 는 투과도, p 는 압력이다. 그리고 Q 는 화학반응에 의한 산소와 물에 연관된 물질의 소비와 생성을 나타낸다.

$$Q = \sum_i S \frac{i_{ci,i} M_i}{n_i F} \quad (15)$$

다공성 가스 확산 전극에서 화학종 보존식은 다음과 같다.

$$\rho u \nabla \omega_i - \nabla \cdot (\rho \omega_i \sum_{j=1}^N (D_{ij} \nabla x_j + (x_j - x_i) \frac{\nabla p}{p})) = R_i \quad (16)$$

여기서 R_i 는 연료극과 공기극에서 반응물의 반응속도와 생성물의 소비 속도로 나타낸다.

$$R_i = \sum_i S_a \frac{i_{ci,i} M_i}{n_i F} \quad (17)$$

Maxwell-Stefan과 Darcy's law 방정식은 속도 벡터 u 와 밀도 ρ 를 통해 묶여지고 다공 전극에서 질량과 모멘텀 평형은 연속관계를 갖는 전극에서 풀이된다.

5. 해석 결과

5.1 2차원 해석 결과

유전자 알고리즘으로 만들어진 수많은 표본은 정해진 범위 내에서 무작위로 변수 값을 변경해가며 최적의 해석 값에 가까워지게 된다. 1개의 2D 모델을 해석하는 데는 약 10초 정도가 소요되며, 유전자를

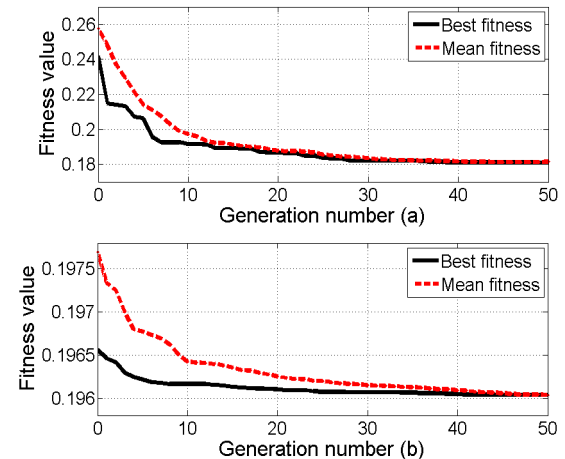


Fig. 4 2D GA results of normal direction(a) and reverse direction(b)

Table 3 Optimization design variables

	Normal Direction	Reverse Direction
x(1)	2.337 mm	2.016 mm
x(2)	4.342 mm	0.623 mm
x(3)	2.460 mm	2.016 mm
x(4)	8.973 mm	0.518 mm

알고리즘 최적화 결과는 약3시간 정도가 소요된다. 20개의 개체수와 50번의 세대 진화과정은 총 1000 번을 해석하며 최적의 결과 값을 찾게 된다. 최종적으로 정방향 모델은 32번째, 역방향 모델은 45번째로 알고리즘이 진행 중일 때 최적화된 값에 수렴하며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

공기극과 막의 경계면은 연료전지 영역에서 전류밀도 값이 가장 크게 나타나는 영역으로, 공기극의 연료와 수소 이온이 화학반응을 일으켜 전류를 얼마나 발생시키는지 알 수 있는 영역이다. 성능의 척도가 되는 전류밀도 값으로 비교해 보면 정방향은 최대 5.5218[A], 역방향은 최대 5.0994[A] 의 값을 나타내어 정방향일 경우 약 8.28% 향상된 최적 값을 보인다. 이는 곧 정방향이 역방향보다 성능이 좋음을 증명한다.

최적화된 변수는 Table 3에 나타내었다. 공통적으로, 연료극의 변수크기 변화는 연료전지 성능에 큰 영향을 받지 않았으며 오히려 크기는 줄어든 반면에, 공기극의 변수크기 변화는 연료전지 성능에 큰 영향을 받았음을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

5.2 3차원 해석 결과

앞서 저자는 2D PEMFC 최적화 결과를 이끌어내었다. 이 결과를 바탕으로 3D PEMFC를 설계하고 결과를 검증하여 신뢰성을 높이고자 하였다. 2D로 얻어진 최적화 결과를 3D PEMFC에 적용하기 위해서 크기 비율, 물성치, 지배방정식을 동일하게 적용시켜서 결과의 신뢰도를 높이고자 하였다. 다만 속도 영역은 2차원에서 2축 방향 해석에 용이한 Darcy's Law 방정식을 사용했고, 3차원에서 3축 방향 해석에 용이한 Navier-Stokes 방정식을 사용했다. 먼저 채널과 전극 비율이 1:1인 모델을 설계하고, 2D 최적화 결과를 구조에 적용시켜 해석 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 7은

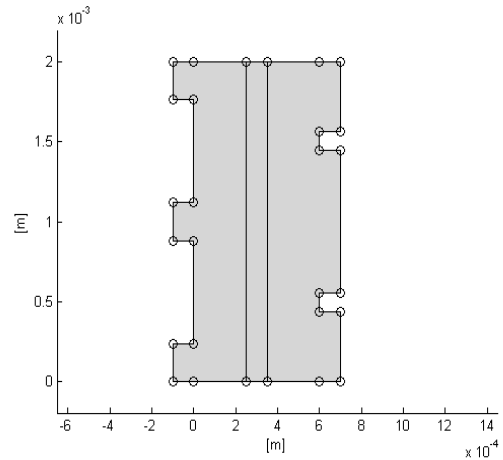


Fig. 5 2D geometry optimization results of normal direction

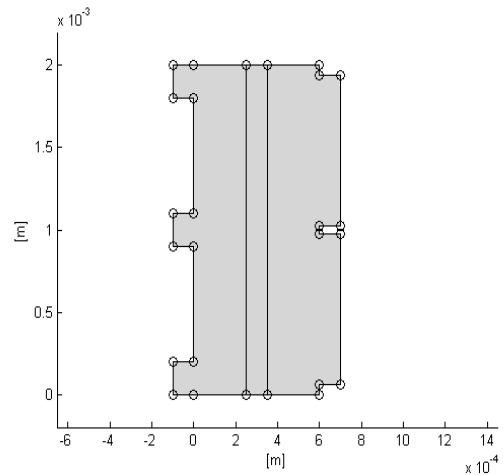


Fig. 6 2D geometry optimization results of reverse direction

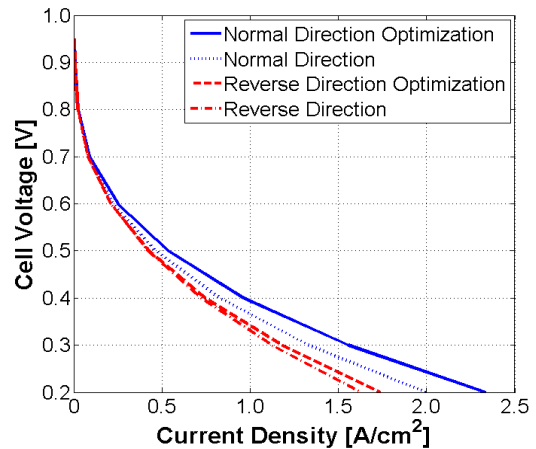


Fig. 7 Polarization curves of 4 different channel & rib configurations

전류밀도가 높을수록 성능과 비례하는 분극곡선을 나타낸 그래프이며, 정방향 최적화 결과인

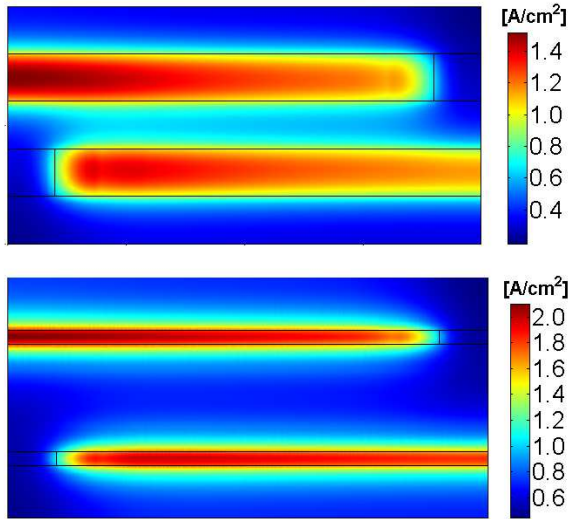


Fig. 8 3D geometry optimization results of normal direction in GDL

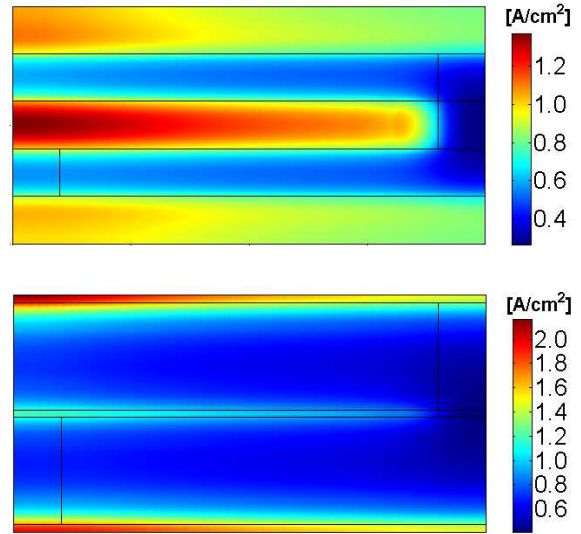


Fig. 9 3D geometry optimization results of reverse direction in GDL

경우 가장 높은 성능을 보였다.

반면 역방향의 경우 최적화 결과 값이 정방향 이 1:1 비율인 경우보다 낮은 성능을 보이므로 정방향이 역방향보다 높은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 3차원 모델의 채널과 가스 확산층 사이에서 발생하는 전류밀도 표면을 나타내고 있다. 이를 분석해보면, 채널 영역보다는 전극 영역에서 전류밀도가 높게 나타난다. 이것은 채널에서는 연료의 이동이 주로 이루어지고, 전극에서는 전하의 이동으로 인한 전기화학반응이 일어나기 때문으로 해석된다.

최적화된 모델에서 전극이 차지하는 면적은 좁은 반면에 전류밀도는 높게 나타나는 현상이 나타났다. 전극은 본래 크기보다 작아질수록 결과 값이 높게 나왔으며, 이와 반대로 채널은 본래 크기보다 클수록 결과 값이 높게 나왔다.

Fig. 10은 가운데지점 Y축에서 나타낸 전류밀도 그래프이다. 전체적으로 전극부분에서 전류밀도가 높게 형성되며, 정방향 최적화 모델의 경우 최대 2.0[A/cm²]까지 높은 밀도를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 11은 공기극 과전압을 나타낸 그래프이다. 과전압은 일반적으로 연료극과 공기극 모두에서 확인할 수 있으나, 일반적으로 환원 반응이 산화 반응보다 느리다. 즉, 과전압의 크기가 공기극에서 지배적이기 때문에 공기극 영역을 중심으로 물의 질량 분율은 입구에서 낮으며, 출구방

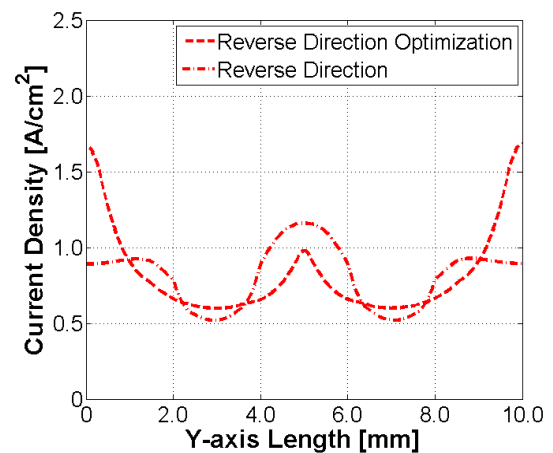
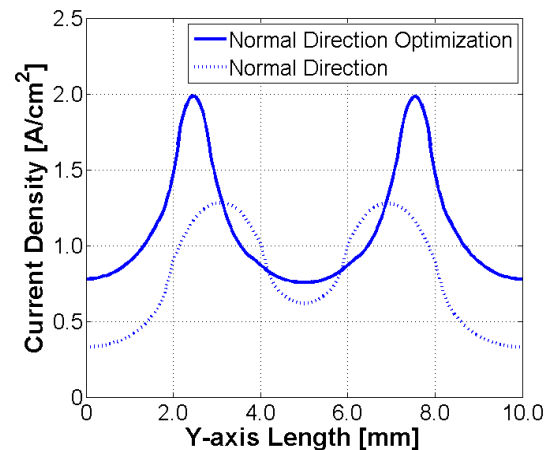


Fig. 10 Comparison of current density in the Y-axis length

향으로 갈수록 높아진다. 특히, 전극 영역에서는 급격하게 증가하는 그래프를 보인다. 물의 질량

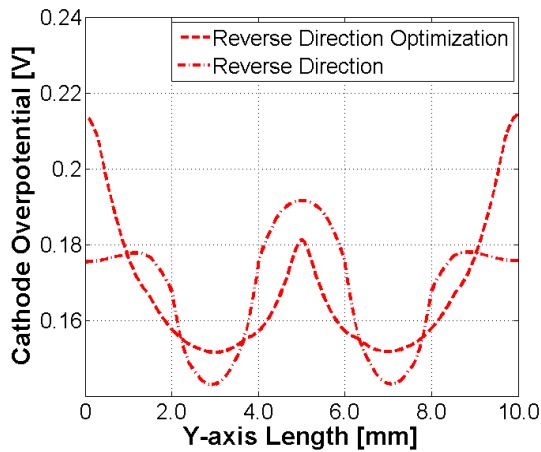
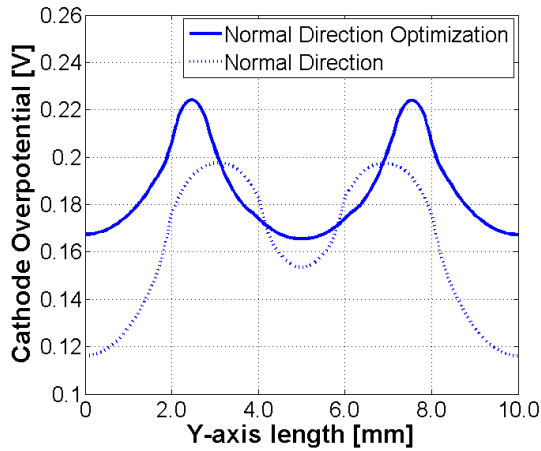


Fig. 11 Comparison of overpotential in the Y-axis length

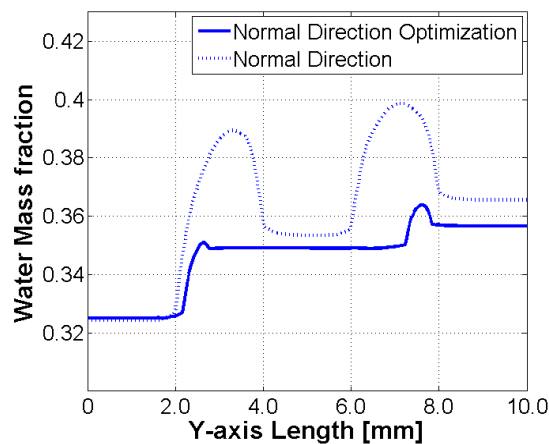


Fig. 12 Comparison cathode water mass fraction in the Y-axis length

분율은 출구보다는 입구에서 높은 반응이 일어나서 소비가 이루어짐을 확인할 수 있다.

최적화된 모델의 경우 전류밀도가 높은 영역은 물의 질량 분율이 낮게 나타나는데, 이것은 그만큼 소비를 했다는 결과로 받아들일 수 있다. 전

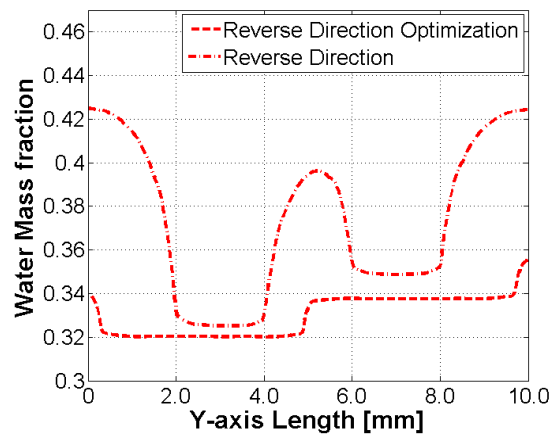


Fig. 13 Comparison cathode water mass fraction in the Y-axis length

류밀도가 높은 영역에서는 물의 질량 분율 소비가 많이 이루어지며, 최적화 모델의 경우 일반적인 경우보다 질량 분율의 격차가 크게 나타나지 않아서 안정적인 흐름을 유지할 수 있다.

6. 결론

최적화된 해석 결과를 통해 전극은 전하가 이동할 수 있는 최소한의 폭을 유지하고, 채널은 연료가 이동할 수 있는 최대한의 폭을 유지하는 것이 최적화된 결과 값을 얻는데 가장 근접한 방법이라고 할 수 있다.

(1) 유전자 알고리즘을 이용한 2차원 고분자 전해질 연료전지의 최적화 해석 결과, 정방향 모델이 역방향 모델보다 약 8.28% 높은 전류밀도 값을 나타냈으며, 이는 곧 정방향 모델의 성능이 좋음을 증명한다.

(2) 2차원 최적화 결과를 3차원 모델에 동일하게 적용시켜서 해석한 결과를 분극곡선으로 나타냈다. 정방향 최적화 모델의 경우 단위 면적 당 전류밀도가 가장 높았으며, 역방향은 정방향에 비해 낮은 성능을 보였다.

(3) 전류밀도 표면 해석 결과, 채널영역보다는 전극영역에서 전류밀도 분포가 집중되는 현상을 확인할 수 있었고, 최적화 모델이 1:1 비율의 모델보다 높은 전류밀도를 나타냈으며, 이는 곧 최적화된 정방향 모델의 성능이 가장 좋음을 증명한다.

참고문헌

(References)

- (1) Shimpalee, S., Lilavivat, V., Van Zee, J. W.,

- McCrabb, H. and Lozano-Morales, A., 2011, "Understanding the Effect of Channel Tolerances on Performance of PEMFCs," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, pp. 12512~12523.
- (2) Ferng, Y. M. and Su, A., 2007, "A Three-dimensional Full-cell CFD Model used to Investigate the Effects of Different Flow Channel Designs on PEMFC Performance," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, pp. 4466~4476.
- (3) Shi, Z. and Wang, X., 2008, "A Numerical Study of Flow Crossover between Adjacent Flow Channels in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell with Serpentine Flow Field," *Journal of Power Sources*, Vol. 185, pp. 985~992.
- (4) Baek, S. M., Koh, S. G., Kim, K. N., Kang, J. H., Nam, J. H. and Kim, C. J., 2011, "A Numerical Study on the Performance of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells Due to the Variation in Gas Diffusion Layer Permeability," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 25, pp. 457~467.
- (5) Bang, H. W., Lee, W. G., Park, J. H., Yun, H. Y., Min, J. G. and Han, D. C., 2009, "Optimal Microchannel Design Using Genetic Algorithms," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, pp. 1500~1507.
- (6) Lee, D. S., 2013, "Optimization of Battery Power Distribution to Improve Fuel Consumption of Fuel Cell Hybrid Vehicle," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 37, pp. 397~403.
- (7) Catlin, G., Advani, S. G. and Prasad, A. K., 2011, "Optimization of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Flow Channels Using a Genetic Algorithm," *Journal of Power Source*, Vol. 196, pp. 9407~9418.
- (8) Carcadea, E., Ingham, D. B., Stefanescu, I., Ionete, R. and Ene, H., 2011, "The Influence of Permeability Changes for a 7-serpentine Channel PEM Fuel Cell Performance," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, pp. 10376~10383.
- (9) Chang, K. Y., 2011, "The Optimal Design for PEMFC Modeling based on Taguchi Method and Genetic Algorithm Neural Networks," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, pp. 13683~13694.
- (10) Ohenoja, M. and Leiviska, K., 2010, "Validation of Genetic Algorithm Results in a Fuel Cell Model," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 35, pp. 12618~12625.
- (11) Larminie, J. and Dicks, A., 2003, "Fuel Cell Systems Explained," Wiley, England, pp. 45~66.
- (12) Nam, K. S., 2011, Hydrogen Fuel Cell Handbook, Ohmsha Ltd and SEONG ANDANG, Japan and Korea, pp.154~155.
- (13) Kim, Y. B., 2012, "Study on the Effect of Humidity and Stoichiometry on the Water Saturation of PEM Fuel Cells," *International Journal of Energy Research*, Vol. 36, pp. 509~522.
- (14) Kang, S. J. and Kim, Y. B., 2012, "Numerical Modeling of Current Density and Water Behavior at a Designated Cross Section of the Gas Diffusion Layer in a Proton Exchange Membrane Fuel Cell," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 36, pp. 161~170.
- (15) Yang, W. J., Kang, S. J. and Kim, Y. B., 2012, "Numerical Investigation on the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells with Channel Position Variation," *International Journal of Energy Research*, Vol. 36, pp. 1051~1064.
- (16) Yang, W. J., Wang, H. Y. and Kim, Y. B., 2013, "Effects of the Humidity and the Land Ratio of Channel and Rib in the Serpentine 3-dimensional PEMFC Model," *International Journal of Energy Research*, Vol. 37, pp. 1339~1348.