ISSN:1226-7244 (Print)
ISSN:2288-243X (Online)
논문번호 17-02-03
j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.21,No.2,123~129,June 2017
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2017.21.2.123


# FEMFC 최적설계를 위한 촉매층모델과 기체확산층 특성해석

# Characteristic analysis of The Catalyst Layer and Gas Diffusion Layer Model for FEMFC optimal design

권 기 홍*★

Kee-Hong Kwon*★

## Abstract

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (FEMFC) is a strong candidate for future automobile and power generation because of its high power density, low emission and low operation temperature. The major concerns of the gas diffusion layer (GDL) inside a FEMFC is water management. The GDL is typically comprised of carbon for electrical conductivity and PTFE for Hydrophobicity. In this simulation, GDL flooding was investigated using a simplified approach method of an established equation models(Fick' Law, Darcy, Law, Stefan-Maxwell diffusion). The performance of GDL was shown using result of the inner heat, water density and oxygen density of the cell using model equations. The catalyst layer mode in FEMFC showed results of effectiveness factor, Butler-volmer and hydrogen flux density. These results are interesting because the influence of several factors has been shown and the information will be helpful for fuel cell design.

## 요 약

고분자 막 연료전지는 높은 전력밀도, 낮은 배출 및 낮은 동작온도 때문에 미래 자동차 및 전력생산의 강력한 보류이다. FEMFC 내부의 기체확산층(GDL)의 중요한 관심은 물의 조절이다. GDL은 소수성 PTFE와 전기전도성을 위해서 탄소로 보통 구성되어 있다. 이 시뮬레이션에서 GDL 흐름은 확립된 방정식 모델의 단순화된 접근법으로 조사되었다. GDL의 성능은 모델 방정식을 이용하여 전지의 내부열, 수증기 밀도 와 산소밀도의 결과를 보였다. FEMFC 촉매층 모델은 유효인자, Butler-volmer 와 수소유동 밀도의 결과를 나타냈다. 이 결과들은 몇 가지 요소들과 함께 영향의 차이는 흥미 가지게 되며 정보는 연료전지를 설계하는데 도움을 줄 것이다.

*Key words : PEMFC, GDL, Effectiveness Factor, Butler-volmer, Hydrogen flux density.*

* Dept. of Electronics Engineering, Suseong University
★ Corresponding author
e-mail:kkh_999@sc.ac.kr, tel:053-749-7221
※ Acknowledgment
Manuscript received May. 16, 2017; revised Jun .4, 2017 ; accepted Jun. 16, 2017
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Ⅰ. 서론

고분자 전해질 막 연료전지(Polymer electrolyte membrane fuel cell, FEMFC) 는 가장 보편적인 형태의 연료전지이면 수소를 연료로 사용하고 있다. PEMFC는 또한 수소로부터 에탄올 및 생체물질에서 추출된 연료에 이르기까지 많은 다른 연료들을 사용할 수 있다. 이러한 연료들은 연료전지에 직접 주입하거나 혹은 재생기로 보낸 다음 순수한 수소를 추출하여 연료전지로 공급하기도 하며, 또한 운전온도는 100℃이하로 운전된다.

FEMFC 연구는 1960년대초 Thomas Grubb와 Leonard Niedrach에 의해 General Electric(GE)에서 PEMFC 기술을 발명을 시작으로 많은 연구자들에 의해 지금까지 연구되고 있으며 가정용전원, 휴대용전원 및 자동차 등에 많이 응용되고 있다.[1-5]. FEMFC의 대표적인 장점은 배터리보다 에너지밀도가 높고, 급속충전이 가능하며, 잠재적인 유해배기가스 배출가능성이 없고 고효율특성을 지니고 있다[6-7]. 주요단점으로는 낮은 운전효율(40-45%)과 백금촉매사용으로 높은 코스트 특성을 가지고 있다. 과거 10년 동안 많은 관심속에 FEMFC에 사용되는 백금을 효과적으로 양을 줄이는 연구는 많은 성과를 이루고 있다[8]. 최근에는 탄소종이 및 탄소천 위에 직접 카본나노튜브를 성장시키고, 카본나노튜브에 백금촉매를 흡착시키는 연구가 많이 이루어지고 있다[9-11].

FEMFC는 양자교환막, 촉매층, 기체확산층, 유동장판, 개스킷 및 말단판으로 구성되어있으며, 실제의 연료전지 층은 PEM, 기체확산 및 촉매층들이다. 기체확산층은 촉매층과 쌍극판 사이에 위치한다. 촉매, 기체확산, 그리고 막 층들(막 전극조립(membrane electrode assembly, MEA)은 흐름장판들 사이에 끼워져 있다. 기체 확산층(gas diffusion layer, GDL)들은 MEA의 가장 바깥에 있는 층들이다. 이층들은 전극들과 쌍극판들 사이에 전기적인 접촉을 제공하며 반응물들을 측매층에 분산시켜주는 역할을 한다. 촉매층들은 연료전지에서 가장 얇은 층(5~30(㎛))이지만 다중상, 공극도, 그리고 전기화학적 반응들로 인하여 가장복잡한 부분이며, 수소를 양자와 전자들로 분리시키는 데에 효율적인 저비용 촉매를 개발해야 되는 문제점을 가지고 있다. 여러 연구자들에 의해서 FEMFC 구조의 다양한 모델을 설계하고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하는 연구가 많이 이루어지고 있다[12]-[15].

본 연구에서는 최적의 연료전지 설계를 위하여 기체확산층과 촉매층의 모델링을 통해서 성능을 미리검증 함으로써 최상의 성능을 낼 수 있는 연료전지를 개발하는 것이 목적이다.

## Ⅱ. 모델종류 및 구성

### 2.1 기체 확산층 모델의 개발

기체 확산층은 다공성의 전기전도성 물질로 만들었다. 확산매체는 흔히 기체 확산층과 미세공극층의 결합구조로 이루어졌다. GDL은 물의 처리와 전기적 물성들을 향상시키기 위한 카본 블랙과 불화고분자로 처리할 수 있다. 이러한 형태의 물질들은 반응물 기체가 막/전극조립체로 효과적으로 확산되는 것을 도와준다. 이 구조에 따라 기체확산 물질들의 두께는 0.0017㎝~0.04㎝범위로 설정하며 밀도범위는 0.21g/㎤~0.73g/㎤이고 공극도는 70%~80%범위로 설정한다. GDL 재질은 대부분 카본천과 카본종이로 사용한다. GDL은 적절한 양의 물이 막/전극 조립체와 접촉하도록 하여 줌으로써 막이 가습화된 상태로 유지하여 주기 때문에 PEMFC에서 물의 운용을 도와준다. 또 액체물이 양극으로부터 이탈하는 것을 향상시킴으로써 넘침 방지를 도와주는 역할을 한다. 이 층은 탄소종이의 공극들이 물로 막히지 않도록 하기 위해 대개 방습처리되어 있다.

FEMFC에서 기체확산층은 전기전도도, 양자 교환막에 대한 기계적지지, 촉매가 부착될 수 있는 다공성 매체, 촉매층으로의 반응물의 접근 및 촉매층으로부터의 생성물의 제거역할 등의 기능을 제공한다. 기체확산층의 대부분의 처리방법들은 연료전지에서의 넘침을 피하기 위하여 확산매체가 혐수성으로 되도록 하여 주는 데에 이용된다. 음극이나 양극 확산매체, 이 매체들 모두는 PTFE로 처리될 수 있다. 확산재질은 5%~30%의 PTFE 용액에 합침된 다음 건조와 소결공정을 거친다. 촉매층과 계면은 코팅이나 미세공극층으로 접합시켜 보다 나은 전기적 접촉과 촉매층과의 물의 효율적인 유출입이 가능하도록 하여준다. 이 층은 PTFE 결합체와 혼합된 탄소, 혹은 흑연입자들로 구성된다. 공극은 0.1~0.5㎛이며 따라서 탄소섬유종이의 공극 크기보다 훨씬 더 작다. 본 연구의 FEMFC 모델의 구성도를 그림 1에서 나타내고 있다. 시뮬레이션에 사용된 기체확산 변수들은 아래 표 1에 나타내었다.

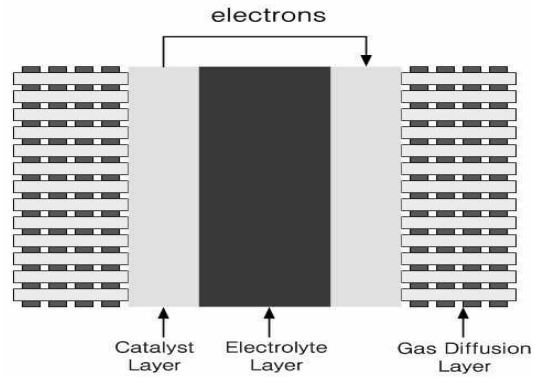


Fig.1. FEMFC configuration
그림 1. FEMFC 구성

Table 1. Gaseous diffusion parameters
표 1 기체확산 변수들

| variable |
|---|
| Overall liquid flux flux($N_L$) |
| Overall film flux($N_W$) |
| Meteorological flux flux($N_{G,j}$) |
| Gaseous component pressure($P_{G,j}$) |
| Liquid pressure($P_L$) |
| Electron phase current density($i_1$) |
| Electron potential potential($\Phi_1$) |
| Temperature(T) |
| Total gas pressure($p_G$) |
| Liquid saturation(s) |

기체 확산층은 우수한 양자 전도체여야 하고 화학적으로 안정해야 하며 연료전지 스텍의 온도와 압축력을 견딜 수 있어야 한다. 널리 이용되는 방법들 가운데 일부는 공극을 통한 기체 및 유체의 모델링이나 다공성 매체와 기체/유체의 상호 작용에 대한 모델링을 포함한다.

본 연구에서는 GDL의 모델링에 사용되는 방법들은 Fick의 법칙, Darcy의 법칙, 그리고 물질이동에 대한 Stefan-Maxwell 확산을 포함하였다. 전하이동에는 Ohm의 법칙이 널리 사용되며 시스템에 대한 에너지 수지를 세워서 보다 정확한 유량, 유속, 그리고 다공성 매체층을 통한 압력강하를 얻을 수 있다. 기체의 경우 Fick 확산이나 Stefan-Maxwell 식을 이용하여 확산공정을 나타낼 수 있었다. 확산 및 전달에 대한 Fick 방정식을 다음 식(1)과 같다.

$$\nabla.[D_u(\theta)\nabla\tilde{u}-\tilde{u}\tilde{V}_g]=0 \quad (1)$$

위에서 $\tilde{V}_g$는 기상의 유속이며 $D_u$는 산소의 확산계수이다.

증기이동 모델을 얻으려면 물의 증기상에 대류가 포함되어야 한다.

$$\nabla.[D_u(\theta)\nabla\tilde{u}-\tilde{u}\tilde{V}_g]+v_1\left[\beta_\theta\exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)\theta+\beta_v\tilde{v}\right]=0 \quad (2)$$

$D_v$는 수증기의 확산계수이며 $v_1$은 정규인자이다.

기체와 물의 유속은 작으므로 물과 기체로부터의 열전달은 무시할 수 있다고 가정한다. 따라서

$$\nabla.[\tilde{k}(\theta)\nabla\tilde{T}]+\rho_\theta L\left[\beta_\theta\exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)\theta+\beta_v\tilde{v}\right]=0 \quad (3)$$

윗식에서 $\tilde{k}$는 열 전도도, $\rho_\theta$는 물의 밀도, 그리고 L은 잠열이다.

액체가 없는 경우에는 $\theta$에 기인하는 모든 항들은 무시한다. 기상에서 대류가 일어난다면 유속은 Darcy의 법칙에 의하여 지배된다.

$$\tilde{V}_g=-\frac{k_g(\theta)}{\mu}\nabla\tilde{P} \quad (4)$$

위식에서 $k_g$는 GDL의 기체로의 투과도이며 $\mu$는 기체의 점도이다. 물은 기체에 대한 가용 공극공간을 차지할 것이므로 투과도 $k_g$는 $\theta$에 따라 좌우된다.

액체가 없으면 대류가 존재하지 않는 일정한 플럭스의 경우에는 단순한 Fick 전달이 되며 압력은 일정하다. 양극 촉매층 계면에서는 플럭스가 일정하다고 가정한다. 따라서 기체 확산층으로부터의 산소 흐름은 식(5)와 같다.

$$D_u\frac{\partial\tilde{u}}{\partial n}=-D_u\frac{\partial\tilde{u}}{\partial y}(\tilde{x},0)=-\tilde{q}_u \quad (5)$$

수증기와 온도 플럭스는 다음 식(6)과 같이 나타내어진다.

$$D_u\frac{\partial\tilde{u}}{\partial y}(\tilde{x},0)=-\tilde{q}_u \quad (6)$$
$$\tilde{k}_c\frac{\partial\tilde{T}}{\partial y}(\tilde{x},0)=-\tilde{q}_T$$

하나의 내부 층 변수를 도입하여 x=0에서의 불연속성을 감안하여 준다.

$$z=\frac{x+1}{\epsilon},\ T(x,y)=q_T(1-y)+T^i(z,y) \quad (7)$$

위식에서 $T^i$는 내부온도이다.

$$T^i=Rf_4 \quad (8)$$

## 2.2 촉매층 모델링

본 연구의 촉매층에 대한 모델링은 다공성 촉매에 대한 식들을 이용하여 FEMFC의 음극과 양극층에 대한

결과를 구하였다. 유효인자(effectivity factor)에 대한 전류밀도, 활성화 손실에 대한 전류밀도, 전압에 대한 전류밀도와 수소 유동 밀도에 대한 전류밀도의 성능특성을 확인하였다.

다공성 촉매에 대한 모델을 이용하여 다음과 같이 식을 해석가능하다. 활성화 손실은 Butler-Volmer 식을 이용하여 식(9)와 식(10)으로 계산가능하다.

음극의 경우

$$\nabla \cdot i_2 = a_{1,2}(1-S)i_{anode}$$

$$i_{anode} = \left[\frac{P_{H2}}{P_{H2}^{ref}} exp\left(\frac{\alpha_\alpha F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2)\right) - \exp\left(\frac{-\alpha_c F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2)\right)\right] \quad (9)$$

양극의 경우

$$\nabla \cdot i_2 = a_{1,2}(1-S)i_{cathode} \quad (10)$$

$$i_{cathode} = \left[\frac{P_{O2}}{P_{O2}^{ref}} exp\left(\frac{\alpha_\alpha F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2-E_\gamma)\right)\right]$$

오옴 손실은 Ohm의 법칙을 이용하여 식 (11)으로 해석가능하다.

$$V_{ohmic} = -(i \times r) \quad (11)$$

물질전달은 다음 식 (12)와 같이 구할 수 있다.

$$V_{conc} = \alpha_1 \times i^k \times \in \left(1-\frac{i}{i_L}\right) \quad (12)$$

Nernst 전압은 다음 식(13)과 같은 수식을 이용하여 구할 수 있다.

$$E_N = -\frac{G_{f,liq}}{2F} - \frac{RT_k}{2F} ln \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} P_{O_2}^{1/2}} \quad (13)$$

음극에서의 수소 산화반응 속도는 다음 식(14)를 가지고 구할 수 있다.

$$\nabla \cdot i_2 = a_{1,2} i_{h,1-2} E$$

$$\nabla \cdot N_{H_2 G} = -\frac{1}{2F}\alpha_{1,2}(1-S)i_{anode}E$$

$$i_{anode} = \left[\frac{P_{H2}}{P_{H2}^{ref}} exp\left(\frac{\alpha_\alpha F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2)\right) - \exp\left(\frac{-\alpha_c F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2)\right)\right] \quad (14)$$

액상 물 양극 촉매반응은 다음 식(15)와 같이 사용할 수 있다.

$$\nabla \cdot N_{H_2O,L} = -\frac{1}{4F}\alpha_{1,2}(1-S)i_{anode}E \quad (15)$$

$$i_{cathode} = \left[\frac{P_{O2}}{P_{O2}^{ref}} exp\left(\frac{\alpha_\alpha F}{RT}(\Phi_1-\Phi_2)\right)\right]$$

위의 식에서 유효인자는 다음 식 (16)과 같이 유도할 수 있다.

$$E = \frac{1}{3\phi^2}(3\phi \coth(3\phi) - 1) \quad (16)$$

Thiele 모듈러스는 다음 식(17)과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi = \zeta \sqrt{\frac{k'}{D_{O_2,agg}^{eff}}} \quad (17)$$

Thiele 모듈러스의 동특성 부분은 다음 식(18)과 같이 유도된다.

$$k' = \frac{\alpha_{1,2} i_{0,Orr}^{ref}}{4F_{CO2}} exp\left(-\frac{\alpha_c F}{RF}(\eta_{cathode})\right) \quad (18)$$

Table 2. Chongmaecheung parameter
표 2. 촉매층 파라미터

| Parameter | Value |
|---|---|
| current density | 1~1.25 (A/㎠) |
| Electrode characteristic area | 10,000 |
| Liquid form moisture content | -228,170 (J/mol) |
| Amplification constant | 0.085 |
| Material transfer constant | 1.1 |
| Limiting current density | 1.5 (A/㎠) |
| Constant wound resistance | 0.025 (Ω-㎠) |
| Anode propagation coefficient | 0.9 |
| Cathode transfer coefficient | 1 |
| Degree of saturation | 0.6e-12 |
| Air pressure | 1 (atm) |
| Hydrogen pressure | 1 (atm) |
| Total barometric pressure | 1 (atm) |
| Diameter of cathode and anode | 115 e-5 |
| Hydrogen transmission of aggregate | 2.5 e-11 |
| Oxygen Penetration in the Assembly | 1.55 e-11 |
| Temperature | 348.15K |

## III. 실험결과

본 연구의 기체확산층 모델로 사용된 식은 기체의 경우 Fick 확산이나 Stefan-Maxwell, 액체가 없을 경우에 기상에서 대류가 일어났을 경우에 유속을 Darcy의 법칙을 이용하여 해석하였다. 액체가 없을 경우 대류가 존재하지 않는 일정한 플럭스의 경우에는 Fick 전달인 경우 압력은 일정한 답을 얻을 수 있었다. 양극 촉매층 계면에서는 플럭스가 일정하다고 했을 때 기체 확산층으로 부터 산소 흐름을 구할 수 있었다. 또 수증기와 온도 플럭스를 구하였다. 본 시뮬레이션에서 기체확산층의 모델은 그림 2에서 내부층 온도 특성을 3차원 그래프를 통해서 온도의 정도를 명확하게 특성을 해석함으로써 내부온도를 이해하는데 도움이 될 것이다. 그림 3에서는 산소농도의 레벨특성을 해석한 결과로서 바닥, 위쪽, 왼쪽,

오른쪽 경계에 대한 경계조건을 적용하였으며, 2차 유한차분을 이용하여 내부 영역의 계산을 감안하여 수행하였다. 그림 4에서는 수증기농도도 산소농도와 마찬가지로 사방경계조건을 설정하여 2차 유한차분을 이용한 내부 영역을 계산하여서 계산식을 유도하였으며, 또 매 100회 반복 시 마다 수렴상태를 기록하여 그래프를 작성하였다. 그리고 그림 5에서는 수증기 포화도 수준곡선을 구할 수 있었다. GDL의 모델링에서는 Fick의 법칙, Darcy의 법칙, 그리고 물질이동에 대한 Stefan-Maxwell 확산을 이용하였으며, 전하이동에는 Ohm법칙이 널리 사용되며 이 결과들을 통해서 GDL 영역을 이해하는데 많은 참고자료로 삼을 수 있을 것으로 생각된다.

촉매층의 모델링은 다른 연료전지층을 결합하는 특성을 가지기 때문에 상당히 복잡한 문제이다. 그래서 촉매층 모델에 포함되어야 할 필요가 있는 중요한 요소중에 다공성 GDL과 고분자 층사이의 접촉을 감안하여 주는 요인과 물질, 에너지, 그리고 전하 수지를 포함하는 것이 중요하다. 또 촉매 집합체들이 GDL을 따라 어떻게 분포되어 있는가를 확인하는 것이 중요한 문제이다. 촉매층 모델링에서 반응식들은 가장 중요한 요소중의 하나이다. 그림 6에서는 수소와 산소의 전지전류의 함수로 나타낸 유효인자를 해석한 것으로서 실선으로 표시된 결과는 산소결과, 점선으로 보시된 결과는 수소특성 결과이다. 그림 7에서는 활성화 손실을 Butler-Volmer식을 이용하여 추정한 것으로 전류밀도와 전위관계를 구한 결과이다. 그림 8에서 전지전류에 대한 전압의 극성화 곡선을 해석하여 해석한 결과이다. 그림 9는 수소의 플럭스 밀도를 나타낸 결과이다. 본 다공성 촉매에서는 FEMFC의 음극과 양극에 대한 모델 식들을 이용하였다. 따라서 이 모델의 수식을 이용한 해석에서 효율적으로 수행함으로서 촉매층을 이해하는데 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

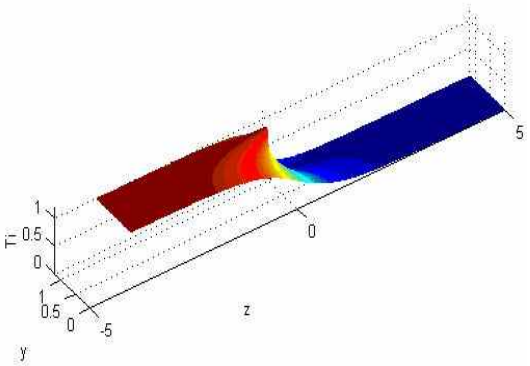


Fig.2. FEMFC configuration
그림2. FEMFC 구성

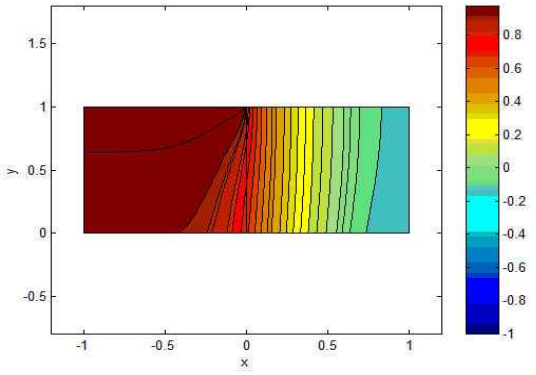


Fig.3. Level characteristics of oxygen concentration
그림 3. 산소농도의 레벨특성

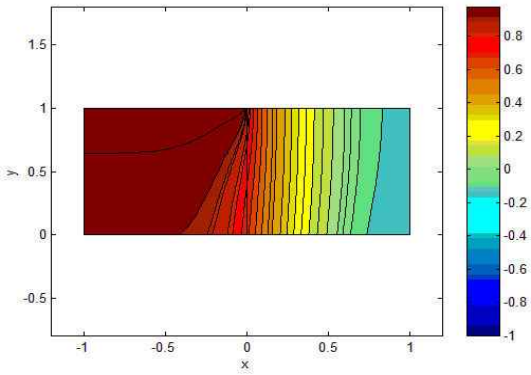


Fig.4. Level characteristics of steam vapour concentration
그림 4. 수증기농도의 레벨특성

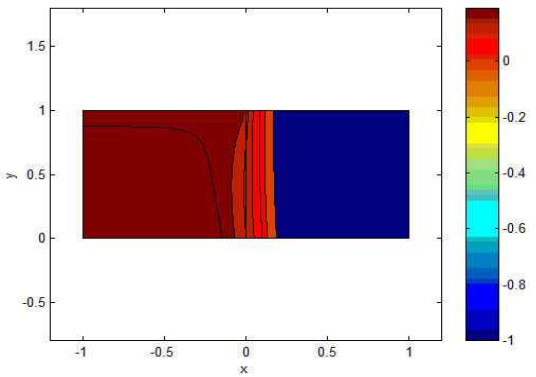


Fig.5. Pohwado curve
그림 5. 수증기 포화도의 수준곡선

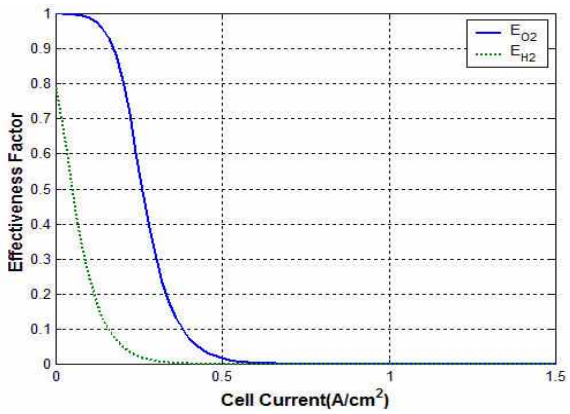


Fig.6. Effective factor
그림 6. 전지전류의 함수로 나타낸 유효인자

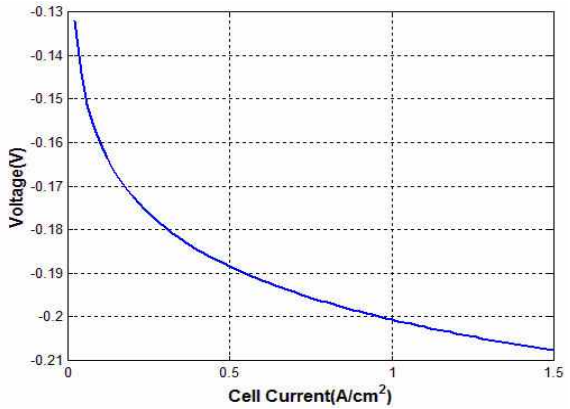


Fig.7. Butler activation loss
그림 7. Butler-Volmer 활성화 손실

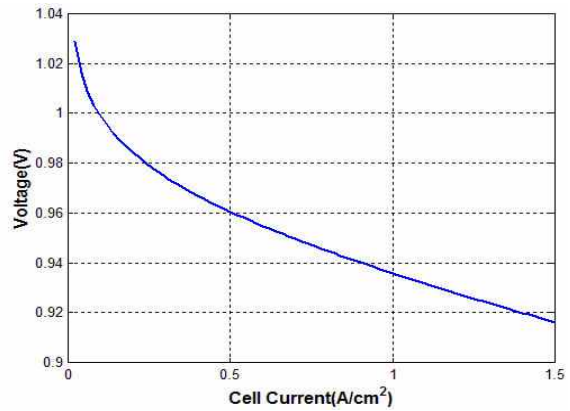


Fig.8. Polarizing curve
그림 8. 극성화곡선

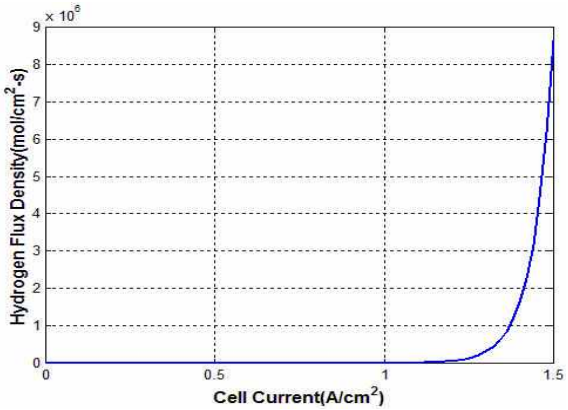


Fig 9. Flux density of hydrogen
그림 9. 수소의 플럭스 밀도

## Ⅳ. 결론

본 연구에서는 기체 확산층과 촉매층 모델의 관계식을 이용하여 특성을 해석하였다. 촉매층과 기체확산층은 FEMFC의 고효율특성을 나타내는데 중요한 역할을 하는 곳이다. 기체 확산층모델에서 다공성 매체의 모델링, 다공 매체 내에서의 전달모드특성 해석하는데 많은 정보를 제공하였다. 촉매층 모델링을 통해서 복잡한 특성을 간단한 모델로 해석을 효율적으로 수행 가능하였다. 따라서 본 시뮬레이션 결과를 통해서 고성능 FEMFC를 설계하고 개발하는데 많은 정보를 제공 가능할 것으로 기대된다.

## References

[1] H. C. Andrews and B. R. Hunt, Digital Image Restoration, Engle-wood Cliffs,NJ, Prentice-Hall, 1977.

[2] Rafael C. Gonzalez, and Richard E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

[3] Reginald L. Lagendijk and Jan Biemond, "Regularized iterative image restoration with ringing reduction," *IEEE Trans. ASSp*, vol 36, NO. 12, December 1988. DOI : 10.1109/29.9032

[4] A. L. Steven, W. Zucker, and A. Rossenfeld, "Iterative enhancement of noisy images," *IEEE Trans. system, Man*

*and Cybernetics* SMC-7, 1977, pp. 435-442 DOI : 10.1109/TSMC.1977.4309740

[5] H. J. Trussell and M. R. Civanlar, "The feasible solutions in signal restoration," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-32, pp. 201-212, 1984. DOI : 10.1109/TASSP.1984.1164297

[6] A. K. katsaggelos, J. Biemond, R. M. Mersereau, and R. W. Schafer, "A general formulation of constrained iterative image restoration algorithms," *in Proc. IEEE Int.* conf. Acoust., Speech, Signal Processing 1985, Tmapa, FL, 1985, pp. 700-703

[7] K. Miller, "Least squares methods for ill-posed problems with a prescribed bound," *SIAM J. Math., Anal.*, vol.1, pp. 52-74, 1970. DOI : 10.1137/0501006

[8] P. H. Westerink, J. Biemond, and P. H. L. de Bruin, "Digital color image restoration," in Signal Processing III :Theories and Applications, I. T. Young et al., Eds. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier North-Hollands, 1986, pp. 761-764

[9] A. N. Tikhonov and V. Y. *Arsenin, solutions of Ill-posed problems.* New York: Willey, 1977.

[10] Lee W. Johnson and R. Dean Riess : "*Numerical Analysis,*" Addison- Wesley Publishing Company, 1982.

[11] Richard L. Burden, J. Douglas Faires,and Albert C. Reynolds: "*Numerical Analysis,*" Prindle, Weber & Schmidt Boston, Massachussetts, 1981.

[12] Melvin J. Maron : "*Numerical Analysis*," Macmillan publishing Co., Inc. New York.

[13] Francis Scheid, "*Numerical Analysis,*" Schaum's outline series.

[14] J. Biemond, F. G. Von der Putten, and J. W. Woods, "Identifica Tion and restoration of images with symmetric non causal blurs,"*IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. CAS-35, pp385-394, 1988. DOI : 0.1109/31.1753

[15] Satpal singh, S.N. Tandon, "An iterative restoration technique," *Signal Processing*, Vol. 11, No. 1, pp.1-11, july, 1986 DOI : 10.1016/0165-1684(86)90091-5

## BIOGRAPHY

**Kee-Hong Kwon** (Member)

1989:BS degree in Electronical Engineering,YeoungNam University.
1991 : MS degree in Electronical Engineering, YeoungNam University.
1994: PhD degree in Electronical Engineering, YeoungNam University.
1991~ : Professor Suseong University