논 문
58P-1-2

전력계통 해석을 위한 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델

PSCAD/EMTDC Model of PEMFC for Power System Analysis

이 종 수* · 김 학 만** · 이 병 국*** · 신 명 철†
(Jong-Su Lee · Hak-Man Kim · Byoung-Kuk Lee · Myong-Chul Shin)

Abstract - The modelling of PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) has been studied in many kinds of methods. But there are some limitations in application of the developed models to analyze transient phenomena of power systems. The PSCAD/EMTDC is very popular simulation tool in power system areas. To analyze power systems interconnected to PEMFCs, the PSCAD/EMTDC model of the PEMFCs is needed. In this paper, we developed a PSCAD/EMTDC model of PEMFC based on electro-chemical characteristic equations of PEMFC. Also, we performed simulations using the developed model in the PSCAD/EMTDC program and tested appropriateness of the proposed models. The simulations showed good results.

Key Words : PEMFC, PSCAD/EMTDC, Fuel Cell Modeling, Distibuted Generation

1. 서 론

최근 석유 및 천연가스 등의 화석연료 매장량 한계와 화석연료의 연소 시에 발생되는 온실가스로 인한 지구 온난화 문제 등으로 인하여 다양한 신재생에너지원 개발의 필요성이 크게 대두되고 있으며, 상용화를 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 태양광 발전, 풍력발전, 연료전지 발전 등의 신재생에너지원 중에서 장소 및 환경의 영향을 적게 받는 연료전지 발전의 경우 고효율의 출력과 대형 발전소에서부터 자동차등의 휴대용에 이르기까지 적용범위가 넓고 무공해라는 점에서 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 특히, 연료전지 중에서도 고분자전해질 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cells, PEMFC)의 경우 다른 연료전지에 비해 저온에서 구동이 가능하며 내구성이 우수하고 출력밀도가 높아 자동차용 전원 및 소 용량 발전설비로 많이 사용되고 있다[1].

PEMFC의 전력계통 연계 해석을 위하여 PEMFC 모델링 기법으로 임피던스 분광법등을 이용한 모델링이 개발되었으나[2] 직접적으로 전기회로 및 계통으로의 연계 해석이 어렵다는 단점이 있다. 그 외 연료전지를 BJT, 다이오드 및 수동소자 등을 이용하여 PSpice 기반의 전기적 회로모델링이 제안되었고[3], 또한 전기화학적인 방정식을 이용하여MATLAB/Simulink를 사용하여 PEMFC의 모델이 제안되었다[4]. 그러나 수동 소자를 이용한 등가 모델의 경우에는 다양한 조건에서 PEMFC가 연계된 계통의 정확한 과도특성 해석에 한계가 있으며, Pspice나 MATLAB/Simulink를 사용하는 경우에는 계통의 상세 모델링과 해석에 제약이 있다.

일반적으로 전력계통의 과도특성 해석에는 PSCAD/EMTDC 프로그램이 많이 활용되고 있는데, PEMFC가 있는 계통의 과도특성 해석을 위해서는 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델을 이용하는 것이 효과적이다.

따라서 본 논문에서는 전력계통의 과도특성 해석에 용이하도록 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델을 제시하고자 한다. 특히, 본 논문에서 제시한 PSCAD/EMTDC 모델은 등가 수동소자를 사용하지 않고 PEMFC의 전기화학적인 특성을 잘 반영할 수 있도록 전기화학식으로 직접 구성하였다.

2. PEMFC의 구조 및 동작원리

PEMFC의 구조와 동작원리는 참고문헌[1]에 잘 기술되어 있으며, 본 논문에서도 PEMFC의 구조와 동작원리에 대해서 참고문헌[1]을 참조하여 기술하였다.

고분자 전해질 연료전지(PEMFC)의 전해질은 액체가 아닌 고체 고분자 중합체(polymer membrane)로 다른 연료전지와 구별된다. 전해질 막은 수소 이온에 대한 전도성이 있는 고분자로 사용 온도가 100℃이하로 제한적이어서(대개 80℃ 이하에서 작동) 촉매로 귀금속인 백금(Pt)을 사용한다. 이에 따라 백금에 독으로 작용하는 CO가 연료에 10ppm 이하로 유지되어야 하며, 이를 위해 개질 반응이 고온 연료전지에 비해 복잡하다. 그러나 PEMFC는 다른 연료전지에 비해 저온에서 동작되어 on/off 사이클에 대한 내구성이 다른 연료전지에 비해 우수하며, 출력 밀도가 높고, 시동시간이 짧아 자동차용과 휴대기기용 전원으로 활용이 가능하다.

* 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정
** 정 회 원 : 인천시립대학교 전기공학과 교수 · 공박
*** 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수 · 공박
† 교신저자, 펠로우회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수 · 공박
E-mail : mcshin@yurim.skku.ak.kr
접수일자 : 2008년 7월 31일
최종완료 : 2008년 11월 30일

일반적인 PEMFC는 중앙에 고분자전해질 막(membrane)을 중심으로 막의 양쪽에 다공질의 연료 극(anode)과 공기 극(cathode)이 부착되어 있는 형태로 되어있으며 개략적인 PEMFC의 구조는 그림 1과 같다. 막과 전극은 일반적으로 일체형으로 제작되고 막과 전극 접합체(Membrane Electrolyte Assembly, MEA)라고 한다.

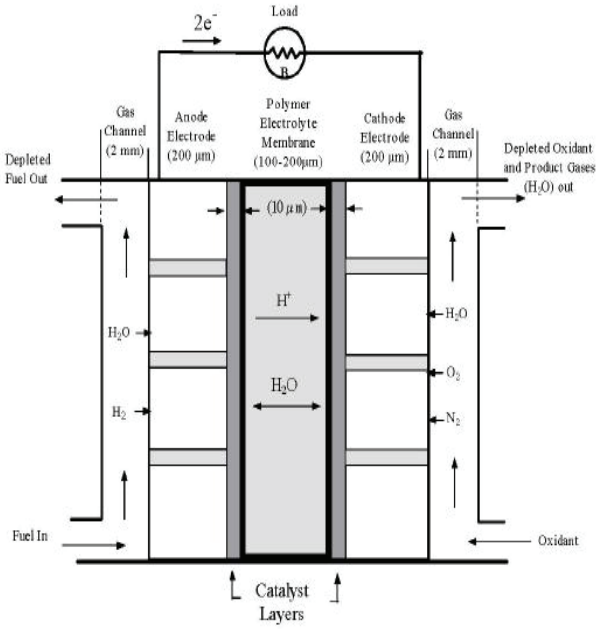

그림 1 PEMFC의 기본 구조[5]
Fig. 1 Basic structure of PEMFC[5]

연료 극에서는 연료인 수소(H_2)가 전기화학적인 산화반응에 의해 수소이온(H^+)과 전자(e^-)로 분리되고, 공기 극에서는 산화제인 산소(O_2)의 전기화학적인 환원반응이 일어나며 이때 발생되는 전자의 이동으로 인해 전기에너지가 발생된다. 또한 이 반응으로 산소가 수소이온과 전자와 반응하여 물이 생성된다. 각 전극에서의 반응식과 총 반응식은 다음의 식(1) - 식(3)과 같다.

$$\text{Anode}: H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- (oxidation) \quad (1)$$

$$\text{Cathode}: \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O (reduction) \quad (2)$$

$$\text{Overall}: H_2 + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow H_2O + Heat \quad (3)$$

두 반응이 연료 극(anode)과 공기 극(cathode)에서 동시에 일어나므로, 반응식 (1)에 의해 연료 극에서 생성된 전자는 외부 회로를 따라 공기 극으로 이동해 반응식 (2)에 사용되고, 또한 반응식 (1)에 의해 연료 극에서 생성된 H^+이온은 전해질을 통해 공기 극으로 이동해 반응식 (2)에 사용된다. 따라서 전자는 외부 도선을 통해 이동하고 H^+이온은 전해질을 통해 연료 극에서 공기 극으로 이동해 외부 회로에 전류가 생성 된다. 이때, 전자가 전해질을 통과해 공기 극으로 이동하면 외부 회로로는 전류가 흐르지 않게 되므로 전해질은 H^+이온만 통과시키고 전자는 통과시키지 않는 특성을 가져야 하며 전자와 H^+이온은 연료 극에서 생성되는 수만큼 공기 극에서 소모되어야 한다. 식 (1)과 (2)에 의한 반응에 의해 전체 연료전지의 극간에는 식 (3)과 같이 물과 열이 발생 한다.

3. PEMFC 모델링

PEMFC의 동작전압은 많은 다양한 물리적 현상에 관계된 많은 변수들의 계산을 통하여 얻어진다. 그러나 일반적으로 평형 전압으로 표현되는 Nernst 전압 E_0 값에 온도, 반응 압력 등의 값으로 구해지는 활성화 손실, 연료교차와 내부전류에 의한 손실, 저항 손실, 물질수송 또는 농도손실에 의하여 전압 강하가 이루어진다. 이들 값을 고려하여 연료전지 셀의 출력 전압은 식 (4)로 표현할 수 있다[7].

$$E_{Cell} = n(E_0 - \eta_{act} - \eta_{conc} - \eta_{ohm}) \quad (4)$$

식 (4)에서의 n은 PEMFC 스택의 개수이고 E_0는 Nernst 전압, 각의 손실 값 및 평형 전압의 값은 다음과 같다[7].

3.1 Nernst 전압

PEMFC는 화학에너지를 전기에너지로 변환하는 장치이며, 화학에너지는 Gibbs 자유 에너지로 표현된다. Gibbs 자유에너지는 온도와 반응 기체의 압력 및 농도에 의해서도 변화하며 이를 고려하여 구한 PEMFC의 평형 전압(Open circuit Voltage, OCV)은 1.228V이다.

그러나 실제의 연료전지의 OCV는 1.228V보다 낮으며 이 점은 연료전지의 모델링에서 주의해야 할 점이다[1].

Nernst 모델은 Gibbs 자유에너지 변화량에서 기체분압과 전압 등을 고려하여 유도되며 식 (5)와 같다.

$$E = E_0 + \frac{RT}{2F} ln \frac{P_{H_2} P_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{H_2O}} \quad (5)$$

식 (5)에서 E_0는 평형전극 전위, R은 가스 상수 (8.3144J/molK), T는 절대온도 (K), F는 패러데이 상수 (96,495C/mol), P는 부분 압력을 나타내며 이때의 PEMFC의 동작 온도는 80(°C), 화학반응에 의해 생성되는 물의 상태는 액체일 때 이다.

3.2 PEMFC 손실값 모델

연료전지의 출력전압은 OCV보다 항상 낮게 출력되는데 이것은 분극현상이라고 부르는 손실현상에 의해 나타나며 이 손실 값은 식 (4)에 나타낸 것처럼 세 부분으로 구성된다[4].

3.2.1 활성화 손실(Activation Losses)

활성화 손실은 전극 표면에서 수소나 산소의 반응속도가 느린 경우 발생하며 이에 의해 PEMFC에서의 전압강하는 매우 비선형적이다. 활성화 손실에 의한 연료전지 전압의 감소 값은 식 (6)과 같이 Taffel 방정식의 일반적인 형태로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{act} = \frac{RT}{\alpha nF}\ln\frac{i}{i_0} \quad (6)$$

여기서 α는 전이계수, n은 반응에 참여한 전자의 개수, i_0는 교환 전류밀도, i는 전류밀도를 나타낸다.

식 (6)에 의한 활성화 손실은 PEMFC의 전압강하를 발생시키는 세 가지 손실 중에서 가장 큰 영향을 일으키는 손실이다[6].

3.2.2 저항 손실(Ohmic Losses)

저항 손실은 이온의 이동에 대한 전해질 내의 저항과 전극을 지나는 전자의 흐름에 대한 저항과 분리판/집적판과 전극 사이의 접촉저항 때문에 발생하며 이때의 손실은 일반적인 옴의 법칙에 의하여 전압강하는 전류 밀도에 비례하고 선형이므로 저항 손실이라고 부르며 식 (7)과 같다.

$$\eta_{ohmic} = IR_T \quad (7)$$

여기서 R_T는 이온, 전기, 접촉에 의한 모든 저항의 합으로 표현되며 전해질의 두께를 얇게 하고 이온 전도도를 향상시킴으로써 저항 손실을 감소시킬 수 있다.

3.2.3 농도 손실(Concentration Losses)

농도 손실은 화학반응에 의해 연료가 소비될 때 전극표면인 산소극과 연료 극에서의 반응물질의 반응 속도 차이에 의한 연료전지 내부의 농도차이, 반응물과 생성물의 확산속도 차이 등에 의해 발생하며 Fick의 확산 법칙과 반응물이 전극에 공급되는 최대 전류밀도인 제한 전류밀도를 고려하면 식 (8)과 같이 유도된다.

$$\eta_{conc} = \frac{RT}{nF}\ln\left(1-\frac{i}{i_L}\right) \quad (8)$$

여기서 i_L은 제한 전류밀도이며 다음 식 (9)로 표현된다.

$$i_L = \frac{nFDP}{RT\delta} \quad (9)$$

여기서, D : 확산계수
δ : 확산층의 두께

이와 같이 PEMFC의 출력전압은 Nernst 모델로 구한 연료전지의 OCV 값에서 세 개의 손실 값 모델링에 의해 구해진 손실 값을 빼줌으로써 식 (10)으로 표현할 수 있다.

$$V = E-(i+i_n)r-A\ln\left(\frac{i+i_n}{i_0}\right)+B\ln\left(1-\frac{i+i_n}{i_0}\right) \quad (10)$$

여기서 A와 B의 값은 Taffel 방정식에 의해 상수 값으로 취급되며 외부 입력 값인 가스 상수, 절대온도, 패러데이 상수 등으로 실제 모델링에선 다음 표 (1)에 의해 제시된 값으로 모델링을 수행하였다[1][8].

표 1 모델링 상수값
Table 1 Modelling constant

Constant	Value
i_n (㎃/㎠)	2
r (㏀·㎠)	30 × 10e-6
i_0 (㎃/㎠)	0.067
A (V)	0.06
B (V)	0.05
i_L (㎃/㎠)	900

그러므로 PEMFC에서의 전압-전류특성과 PEMFC의 출력전압을 강하시키는 각 손실 영역에서의 전압강하 곡선은 그림 2와 같다[4].

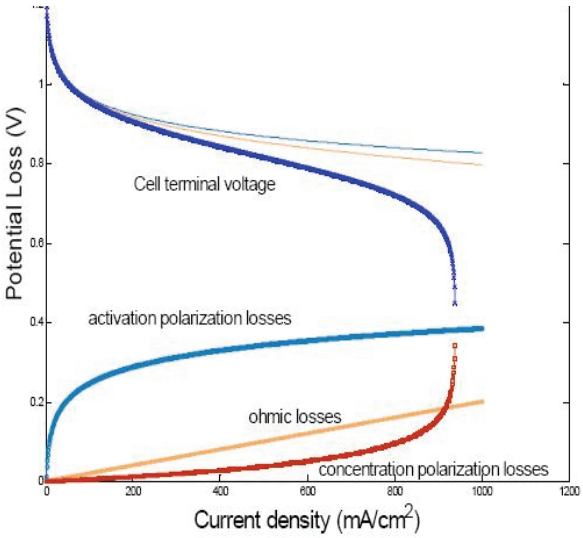

그림 2 PEMFC V-I 특성 곡선 및 각 손실영역에서의 전압강하 곡선[4]
Fig. 2 Voltage-current density & polarization loss curve of PEMFC[4]

4. PSCAD/EMTDC 모델링

3장의 전기화학방정식을 이용하여 다음과 같이 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델을 구성하였다.

PSCAD/EMTDC를 사용하여 구성한 PEMFC의 전체적인 블록 다이어그램은 다음 그림 3과 같다. 그림 3에서 구성한 모델은 단위 스택당 PEMFC의 전압-전류 특성을 고려하여 실제 계통에 연계 가능한 모델로 사용하기 위하여 식 (4)의 n의 값을 사용자가 직접 조종 가능하도록 PSCAD/EMTDC의 컨트롤 패널을 사용하여 구성하였고 시간의 변화에 대하여 전류 i의 값이 선형적으로 증가하도록 모델을 구성하였다.

그림 3에서 표 1에 주어진 상수 값의 입력은 PSCAD/EMTDC의 데이터 라벨을 사용하여 고정된 값으로 각각의 손실 및 Nernst 전압 계산 블록에 대입되도록 하였다. 그리고 그림 3과 같이 표 1의 상수 값 부분과 3장의 Nernst 전압 블록, 활성화 손실블록, 저항손실블록, 농도손실블록 부분으로 구성하였다.

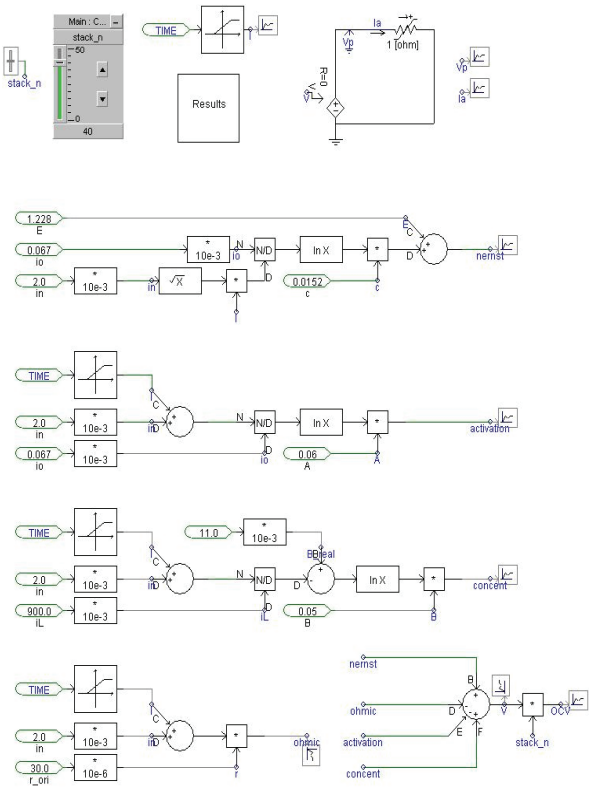

그림 3 PEMFC 블록다이어그램
Fig. 3 Block diagram of the PEMFC

PEMFC의 Nernst 출력전압 부분의 PSCAD/EMTDC 모델은 식 (5)를 이용하여 그림 4와 같이 구성하였고 여기에 사용된 입력전류 i는 그림 3에서의 선형적으로 증가하는 값으로 구성하였다.

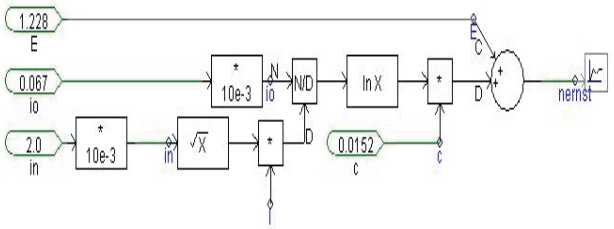

그림 4 Nernst 출력 블록다이어그램
Fig. 4 Block diagram of the Nernst output voltage

PEMFC의 활성화 손실영역에서의 PSCAD/EMTDC 모델은 식 (6)을 이용하여 그림 5와 같이 구성하였다.

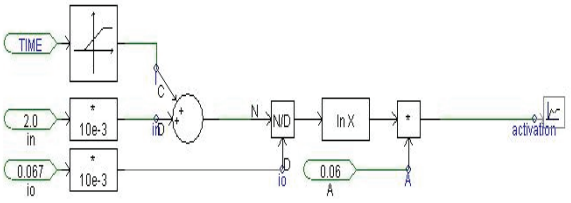

그림 5 활성화손실 블록다이어그램
Fig. 5 Block diagram of the activation losses

PEMFC의 저항손실 영역에서의 PSCAD/EMTDC 모델 구성은 식 (7)의 방법을 이용하여 그림 6과 같이 구성하였으며 전체 전류 I를 구하기 위해 PEMFC의 내부 전류 i_n에 입력전류 i의 값을 더하여 구성하였다.

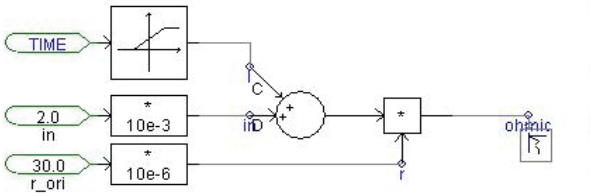

그림 6 저항손실 블록다이어그램
Fig. 6 Block diagram of the Ohmic losses

PEMFC의 농도손실영역에서의 PSCAD/EMTDC 모델 구성은 식 (8)의 방법을 이용하여 그림 7과 같이 구성하였으며 제한 전류 밀도 i_L은 식 (9)에 의하여 계산되었다.

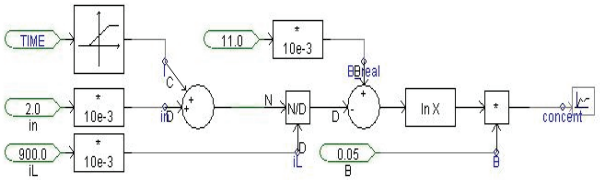

그림 7 농도손실 블록다이어그램
Fig. 7 Block diagram of the concentration loss

마지막으로 PEMFC의 출력전압과 각 손실영역에서 구해진 값을 통합하기 위한 PSCAD/EMTDC 모델은 식 (4)를 이용하여 그림 8과 같이 구성하였다.

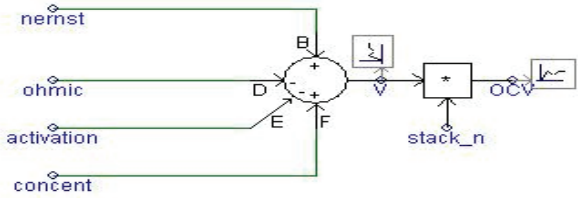

그림 8 PEMFC 출력전압 블록다이어그램
Fig. 8 Block diagram of the PEMFC OCV

5. 시뮬레이션 및 타당성 검토

개발한 PSCAD/EMTDC 모델을 사용하여 각각의 손실영역에서의 출력 값과 PEMFC 스택의 전압-전류 출력 값의 시뮬레이션을 수행한 결과와 기존의 이상적인 PEMFC의 출력 값인 그림 2 PEMFC V-I 특성 곡선 및 각 손실영역에서의 전압강하 곡선[4]과 비교하여 타당성을 검토하였다.

5.1 출력 전압

그림 4에 의해 계산되어진 PEMFC의 Nernst 출력전압은 식 (5)번의 Nernst 방정식에 의해 계산된 아래의 계산 결과처럼 나타내어지며 그림 9와 같이 시뮬레이션 출력결과가 나타내어진다.

$$E = 1.228 + \frac{8.3144 \times 353}{2 \times 96.495} ln \frac{0.067 \times 10^{-3}}{\sqrt{2.0 \times 10^{-3}}} \frac{di}{dt} \qquad (11)$$

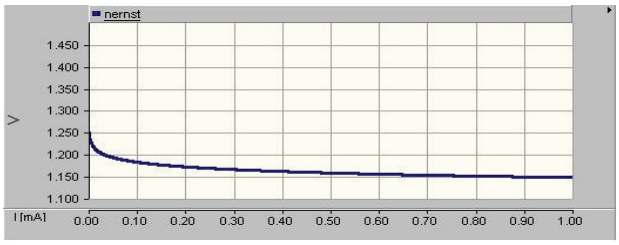

그림 9 Nernst 출력 전압
Fig. 9 Nernst output voltage

5.2 손실영역

각각의 손실영역에서의 PSCAD/EMTDC를 사용한 시뮬레이션 결과 값은 다음 그림 10, 11, 12에 표시하였다.

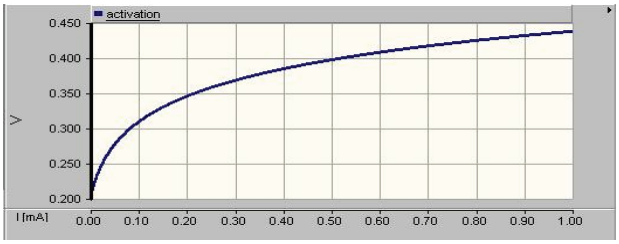

그림 10 PEMFC의 활성화 손실
Fig. 10 Activation losses of PEMFC

그림 10에서는 활성손실 블록다이어그램인 그림 5에 의해 모델링된 PEMFC의 전압손실을 보여주며 그래프의 y축은 전압 손실을 x축은 전류 밀도를 나타낸다.

그림 11에서는 PEMFC 내부의 저항 값에 의한 전압손실을 보여주며 그림 6의 모델링을 통하여 선형적으로 전압손실이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

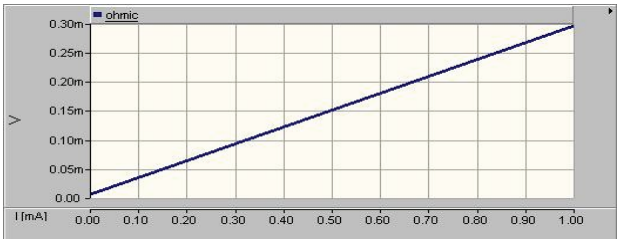

그림 11 PEMFC의 저항 손실
Fig. 11 Ohmic losses of PEMFC

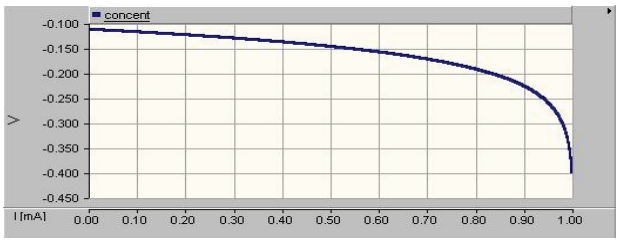

그림 12 PEMFC의 농도 손실
Fig. 12 Concentraion Loss of PEMFC

농도손실 블록다이어그램인 그림 7에 의해 모델링된 PEMFC의 전압손실을 그림 12에 나타내었고, 이때 반응물질의 농도와 압력에 의해 발생한 PEMFC의 농도손실의 시뮬레이션 결과는 식 (8), 식 (9)에 의해 아래 식 (12), 식 (13)과 같이 계산되었다.

$$i_L = \frac{96.495 \times D}{8.3144 \times 353 \times \delta} = 900 \times 10^{-3} \qquad (12)$$

$$\eta_{conc} = \frac{8.314 \times 353}{n \times 96.495} \ln\left(1 - \frac{i}{i_L}\right) \qquad (13)$$

5.3 PEMFC 특성 곡선

그림 9에서 얻은 출력 전압에 그림 5, 6, 7에서 제안된 3개의 전압손실에 대한 모델링의 결과 값인 그림 10, 11, 12의 출력 결과를 그림 8의 방법으로 통합하여 그림 13의 PEMFC의 V-I 특성곡선을 구할 수 있었다. 그림 13의 결과 그림은 그림 2에 보이는 V-I 특성 곡선과 동일한 패턴을 보임을 확인할 수 있었다.

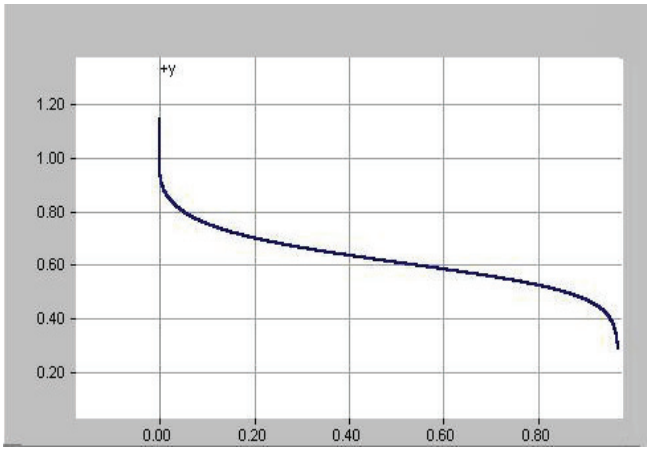

그림 13 시뮬레이션한 PEMFC의 V-I 특성곡선
Fig. 13 Voltage-current density characteristic of PEMFC

6. 결 과

기존의 PEMFC 모델들은 계통에 연계하여 분산전원으로 동작 시에 PEMFC는 주로 PSipce나 Matlab/Simulink 등과 같은 프로그램을 사용하여 시뮬레이션되고 있으며 그 결과 값만을 계통연계 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 사용하였기 때문에 계통에서의 분산전원에 대한 상세한 해석의 어려움이 있었다.

본 논문에서는 실제 계통의 과도 특성을 시뮬레이션하는데 널리 이용되는 PSCAD/EMTDC를 사용하여 전기화학식에 근거한 PEMFC의 모델을 구현하였으며, 시뮬레이션을 통하여 제시한 모델의 타당성을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델은 계통연계 시의 PEMFC의 정확한 동작특성 구현이 가능하며, 추후 PEMFC의 계통 연계운전에 대한 다양한 계통 과도특성 해석에 제안한 PEMFC의 PSCAD/EMTDC 모델의 많은 활용이 기대된다.[9]

참 고 문 헌

[1] James Larminie, Andrew Dicks "Fuel Cell Systems Explained", JOHN WILEY & SONS. LTD, 2003.

[2] W.J. Choi, J.W. Howze, P. Enjetil, "Development of an equivalent circuit model of a fuel cell to evaluate the effects of inverter ripple current", J. of power sources, 15,8 pp.1324-1332, 2006.

[3] Yu. D Yuyarajan. S, "A Novel circuit medel for PEM fuel cells", APEC '04. 19th annual IEEE, Vol 1, pp. 362-366, 2004.

[4] Gyu-Yeong Choe, Jong-Soo Kim, Hyun-Soo Kang, Byoung-Kuk Lee "Proton Exchange Membrane Fuel Cell(PEMFC) modeling for High Efficiency Fuel Cell Balance of Plant(BOP)", Proceeding of International Conference on EMS pp. 271-276, 2007.

[5] Mo Zhijun, Zhu Xinjian, Cao Guangyi, "Design and Simulation of Fuzzy Controller for PEMFCs", IEEE, pp. 220-224, 2005.

[6] Felix Grasser, Alfred Rufer "A Fully Analytical PEM Fuel Cell System Model for Control Applications", IEEE transactions on industry applications, Vol 43. No 6, Nov/Dec 2007.

[7] Mann R.F., Amphlett J.C., Hooper M.A.I., "Development and application of a generalized steady-state electrochemical model for a PEM fuel cell", Journal of Power Sources, Vol. 86, pp. 172-180, 2000.

[8] Jeferson M. Correa, Felix A. Farret, Vladimir A. Popov, Marcelo G. Simoes "Sensitivity Analysis of the Modeling Parameters Used in Simulation of Proton Exchange Membrane Fuel Cells", IEEE Transactions on Energy conversion, Vol. 20, No.1, March 2005.

[9] M. Tanrioven, M.S. Alam, "Modeling, Control, and Power Quality Evaluation of a PEM Fuel Cell-based Power Supply System for Residential Use", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 42, No. 6, Nov/Dec 2006.

저 자 소 개

이 종 수 (李 宗 洙)

1974년 12월 9일생. 2000년 수원대학교 전기공학과 졸업. 2003년 성균관대학교 정보통신공학부 대학원 졸업(공학석사). 2004년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7161

Fax : 031-290-7168

E-mail : aura74@skku.edu

김 학 만 (金 學 萬)

1966년 2월 11일생. 1991년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996. 10 ~ 2008. 2 한국전기연구원 전력연구단 선임연구원. 2008. 3 ~ 현재 인천시립대 전기과 교수.

Tel : 032-760-8706

E-mail : hmkim7@icc.ac.kr

이 병 국 (李 秉 國)

1968년 12월 25일생. 1994년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2001년 Texas A&M University 전기공학과 졸업 (공박). 2002년 1월 ~ 2003년 1월 Postdoctoral Research Associate, Texas A&M University. 2003년 4월 ~ 2005년 9월 한국전기연구원 산업전기연구단 전력전자그룹 선임연구원(팀장). 2006년 3월 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수. ICEMS2007 및 Intelec2009 General Secretary, IEEE Senior Member. 현재 당 학회 영문지 Editor, 학술 및 편집위원, B부문 편집 부위원장.

Tel : 031-299-4581

Fax : 031-299-4639

E-mail : bkleesskku@skku.edu

신 명 철 (申 明 澈)

1947년 4월 3일생. 1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1978년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1975 ~ 1978년 충북대학교 전기공학과 조교수, 1982~1983년 미국 코넬대 전기공학과 교 환교수, 2000년~2001년 미국 펜실바니아주립대 전기공학과 교환교수, 2005년 대한전기학회 회장. 1978년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수.

Tel : 031-290-7161

Fax : 031-290-7168

E-mail : mcshin@yurim.skku.ak.kr