

매틀랩을 이용한 RPG 시스템 연료전지 모델 구현

김나영, 장예지, 한경희, 백수현
동국대학교 전기공학과

RPG System Fuel Cell Modeling using Matlab

N.Y. Kim, Y.J. Jang, K.H. Han, S.H. Baek
Dongguk University Electric Dept.

Abstract - 본 논문에서는 Matlab & Simulink를 이용하여 PEM Fuel Cell의 RPG시스템을 모델링 하였다. 모델링을 위해 기본적인 PEMFC의 기본 구조와 원리를 설명하고, 압력, 온도, 농도 등을 고려한 시뮬레이션을 구현하였다. 일정 조건 하에서 실험을 통하여 시뮬레이션의 결과와 실험값을 비교하였다.

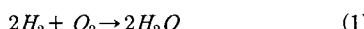
1. 서 론

최근 자원의 고갈과 환경문제에 대응하기 위한 대체에너지 시스템과 기술 개발에 대한 관심도가 증가하고 있다. 그로 인해 신재생 에너지를 도입한 기술의 발달이 전 세계적으로 연구되고 있으며, 특히 해외에서 97% 이상 에너지를 수입하는 대한민국의 경우 특히 관심이 집중되고 있다. 그중에서도 연료전지는 공해배출이 거의 없는 청정 에너지이며 고효율의 시스템으로 많은 관심을 받고 있다. 연료전자는 풍력, 태양에너지 등과 같은 자연 에너지의 수급상의 불균형을 가장 효과적으로 조절, 보완할 수 있는 전력 사업용 에너지 기술이며, 응용 범위가 매우 넓어 향후 에너지 시장을 주도할 대표적인 기술로 경제적인 개발가치도 매우 큰 것으로 평가되고 있다. 그러나 현재 핵심기본기술은 상당부분 확보하였으나 시스템 제작 및 부품 소재 기술은 선진국에 비해 미흡한 실정이다. 따라서 국산화 개발에 필요한 기술력 확보가 필요하다. 연료전자는 수소를 연료로 하여 받은 에너지를 직접 전기, 열에너지로 변환시키게 된다. 연료전지 시스템은 기존의 열역학적인 제한을 받지 않기 때문에 발전 효율이 35~45%로 기존의 발전 장치에 비해 효율이 매우 높으며 전기뿐 아니라 열을 이용하는 열병합발전을 채택하는 경우에는 효율이 80%에 이르게 된다. 본 논문에서는 Matlab & Simulink를 이용하여 연료전지의 RPG 시스템 모델을 구현하고자 하였다. 실험을 통하여 연료 전지의 입력에 따른 출력 특성에 대한 연구를 시뮬레이션과 실험을 통해 진행하였다.

2. 본 론

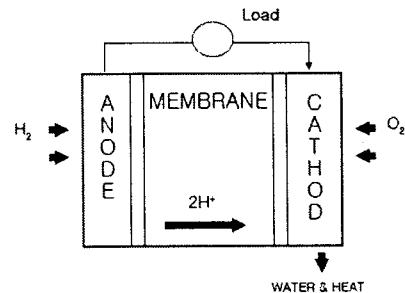
2.1 연료전지의 원리와 기본 구성

수소는 전기화학적으로 이온 전동성이 좋은 전해질과 반응하여 이온화된 수소는 전해질을 통과하여 산소와 반응하여 물을 생성하며 식 (1)은 수소와 산소가 반응하여 물을 생성하는 과정을 나타낸 것이다.



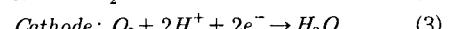
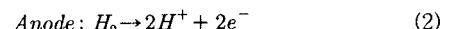
발생한 전자는 외부로 흘러 전류를 발생시킨다.

그림 1은 PEMFC의 기본 동작 원리를 보여주고 있다.



<그림 1> 연료전지의 기본원리

PEMFC는 중앙에 Membrane을 중심으로 양옆에 다공질의 Anode와 Cathod로 이루어져 있는 형태로 되어있다. 전자는 연료극에서 공기극으로 흐르게 되는데 수소는 H⁺ 이온과 전자(e⁻)로 분리되어 전해질을 통해 산소극으로 이동하고, 전자는 외부회로를 통해 이동한다. 산소극에서는 산소가 수소이온과 결합하여 물이 생성된다. 각극에서 발생하는 화학반응식은 (2),(3)과 같다.



2.2 PEM Fuel Cell 모델

PEMFC의 동작 전압은 일반적으로 Nernst 전압에 화학반응이 늦어지며 생기는 활성화순실, 연료가 이온화되지 않은채 전해질을 통과해버림으로써 발생하는 연료교차나 내부전류에 의한 손실, 저항순실, 화학반응에 의해 연료가 소비될 때 전극표면에서 반응물질의 농도가 변화하기 때문에 발생되는 물질수송순실 등의 전압강하를 고려하여 표현한다. 반응물질과 생성물질의 압력이 주어지고 생성물질이 증기인 경우에는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln\left(\frac{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{P_{H_2O}}\right) \quad (4)$$

연료와 공기의 흐름, 구성, 온도 등의 파라미터를 고려한 시뮬레이션에서 개방회로전압과 Tafel 상수는 식 (5), (6)와 같다.

$$E_{OC} = N(E_n - A \ln(i_o)) \quad (5)$$

$$A = \frac{RT}{zaF} \quad (6)$$

수소와 산소의 비율은 (6), (7)과 같다.

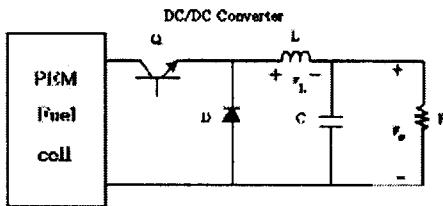
$$U_{f_{H_2}} = \frac{60000RTNi_{fc}}{zFP_{Fuel}V_{lpm(Fuel)} \times x\%} \quad 0 \leq U_{f_{H_2}} < 1 \quad (7)$$

$$U_{f_{O_2}} = \frac{60000RTNi_{fc}}{zFP_{Air}V_{lpm(Air)} \times y\%} \quad 0 \leq U_{f_{O_2}} < 1 \quad (8)$$

최대 Air Flow의 비율이 정해져있는 경우에는 부하의 정격 Air Flow 비율은 식 (8)을 이용해 산출할 수 있다.

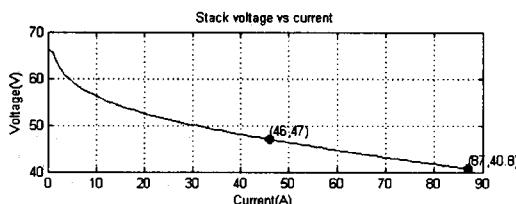
$$V_{lpm(Air)_{nom}} = \frac{I_{nom} \times V_{lpm(Air)_{Max}}}{I_{end}} \quad (8)$$

2.3 시뮬레이션 및 결과

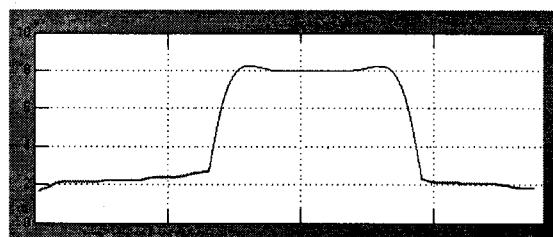


<그림 2> PEM Fuel Cell 시뮬레이션 모델

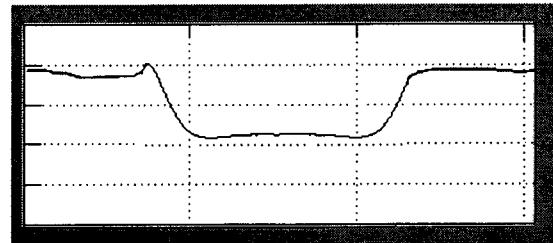
그림 2는 본 논문의 시뮬레이션에 사용된 PEM Fuel Cell 전력 변환 시스템 모델의 구성도를 나타낸다. PEM Fuel Cell의 내부는 연료전지 스택의 등가회로를 기본으로 설계하였다. 연료전지에 DC-DC 컨버터를 연결하여 제조사로부터 제공받은 스택 테스트 시트의 스펙과 실제 실험에서 사용하였던 조건을 사용하여 시뮬레이션을 하였다.



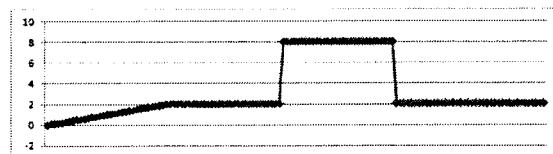
<그림 3> 시뮬레이션을 통해 얻은 V-I 특성곡선



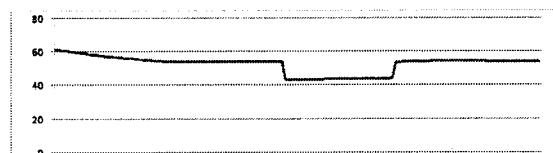
<그림 3> 시뮬레이션 출력 전류



<그림 4> 시뮬레이션 출력 전압



<그림 5> 연료전지 출력 전류



<그림 6> 연료전지 출력 전압

그림 5와 6은 NEXA 스택을 이용한 PEM FUEL Cell 전력변환 시스템을 이용하여 실험을 하였고, 부하변동에 따른 연료전지 출력 전류와 전류값의 변화를 측정하였다. 부하를 증가시키면 전류는 증가하고, 전압은 감소하고, 부하를 감소시키면 전류는 감소하고, 전압은 증가한다.

그림 4,5,6,7로부터 실험에 사용된 스펙을 시뮬레이션에 적용하고 실험 데이터와 비교한 결과 어느 정도 일치함을 볼 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 연료전지의 기본 구성과 원리에 대해서 알아본 후 기본원리를 적용하여 연료전지의 RPG시스템을 매틀랩/시뮬링크를 이용해서 구현하였다. 그리고 실제 PEMFC 실험을 통하여 실험의 결과값과 시뮬레이션을 통해 나온 그래프의 값이 일치함을 확인하였다. 이상적인 조건을 가정하고 시뮬레이션을 하여 약간의 오차는 존재하지만 그래프의 추이가 비슷함을 볼 수 있다. 향후 이 시뮬레이션을 바탕으로 연료전지에 사용되는 DC-DC 컨버터의 출력 특성을 연구할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell System Explained", April 2005
- [2] 김회준, "스위치모드 파워서플라이", p11~25, 1995
- [3] 백수현, 김회준, 김영석, 홍순찬, "전력전자공학", p355~362, 1996
- [4] "연료전지 최신개발동향" 월간전기 11호, 2002
- [5] Spiegel R.J., Gilchrist T., and House D.E., "Fuel cell bus operation at high altitude", Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Part A, 213, 57~68, 1999