

연료전지 모델링 및 연료전지 비선형 특성을 반영한 모의전원 장치 Fuel Cell Modeling and Simulator(APL) Considering Nonlinear Fuel Cell Characteristic

박봉희*, 최주엽*, 최익*, 조상윤**, 이동하***
광운대학교*, 다한테크**, 대구경북과학기술원***

Bong-Hee Park*, Ju-Yeop Choi*, Ick Choy*,
Sang-Yoon Cho**, Dong-Ha Lee**

Kwangwoon University*, Dahan Tech**, DGIST***

ABSTRACT

본 논문에서는 연료전지용 전력변환장치 설계에 필요한 연료전지의 수학적 모델링과 이에 기초한 하드웨어 시뮬레이터(APL)에 대하여 설명한다. 지금까지 사용되어 왔던 일반적인 DC 전압원 대신에 연료전지의 비선형 전원 특성을 고려할 수 있는 모의 실험에서 사용할 수 있는 연료전지 모델링에 관하여 설명한다. 연료전지는 화학적인 에너지를 전기적인 에너지로 변환하는 장치로써 개질기를 사용하여 수소를 지속적으로 공급해야 하는 등 실험실에서 실제 운전하는데 많은 어려움을 가지고 있다. 이런 어려움을 보완할 수 있는 모의전원장치(APL)를 사용하여 연료전지의 I-V 및 P-V 곡선의 전기적 비선형 특성을 제공함으로써 연료전지용 제어기 및 전력변환장치 설계가 보다 더 현실적일 수 있도록 하는데 도움이 될 것으로 본다.

1. 서론

연료전지는 다양한 구성을 가지고 있으며 그 중에서 연료전지 기술 개발 수준이 가장 높으며, 상용화가 기대되는 기술이 고분자 전해질 막(PEM) 연료전지 등이 있다. 이러한 다양한 연료전지에서 발전 시스템의 특성을 이해 및 해석하려면 우선적으로 연료전지의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 연료전지 모델링이 필요하다고 생각한다. 이러한 특성에 맞춰 컨버터가 고려해야 할 부분이 어디인지 확인 및 해석하여 모델링 하도록 중점을 두도록 하였다.

2. 연료전지 모델링

2.1 모델링 관련 수식

연료전지는 화학적인 에너지를 전기적 에너지로 변환시키

로 열역학 방정식 등을 이용하여 그 값을 얻을 수 있다. 이 때 화학적인 에너지는 일정한 압력과 온도를 유지하는 조건에서 기브스 자유 에너지에 따라 전기적 에너지로 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{-\Delta g_f}{2F}$$

이때 연료전지로부터 전기에너지를 발생시키는 경우 비가역적인 손실로 인하여 실제 전압의 전압은 이론전압 보다 낮아지며, OCV전압의 50%까지 떨어진다. 이때의 전압강하는 크게 활성화 분극화(V_{act}), 저항 분극화(V_{ohm}), 농도 분극화(V_{con}) 등 크게 3가지로 구분할 수 있다.

활성 분극화 손실의 경우 전극표면에서의 화학작용이 원인이 되며, 전류가 $i > i_0$ 경우에는 아래의 식을 적용할 수 있다.

$$V_{act} = V_0 + V_a(1 - e^{-c_1 i})$$

$$V_{act} = a \ln\left(\frac{i}{i_0}\right), \text{if } i > i_0$$

여기서, a 는 이상기체상수와 온도범위, 전자의 개수의 곱을 전달계수와 Faraday상수로 나눈 상수 값이며, i 는 전류밀도, i_0 는 반응교환 전류 밀도, V_0 은 영 전류 밀도 일 때의 전압강하, V_a , c_1 은 산소 압력 및 온도에 관련된 상수이다.

$$V_{ohm} = R_{ohm} \times i$$

저항분극화 손실은 연료전지 스택 내의 내부 저항 손실로, R_{ohm} 은 전지저항 값으로 전자 저항과 전 이온 저항을 포함하며 이 전지저항 값은 전해질 막의 두께를 전해질 막의 전도도로 나눈 값으로 계산할 수 있다.

$$V_{con} = \left(c_2 \frac{i}{i_{max}}\right)^{c_3}$$

농도 분극화 손실은 연료전지가 사용되는 반응물의 농도의 변화에 의하여 발생되며, c_2 , c_3 는 온도와 분압에 관련된 상수

이며, i_{max} 는 최대 전류밀도이다.

2.2 시뮬레이션

Rated Power	200W
Rated Voltage	19.2V
Rated Current	10.4A
DC Voltage range	16~32V
Efficiency	≥40%
Pure hydrogen	≥99.99%
Ambient Temperature	5~30°C

표1 연료전지 사양

Table.1 Fuel cell Specification

Table. 1의 연료전지 모델은 Horizon社의 H-200 모델이다. 데이터로 제공되는 곡선과 시뮬레이션으로 구현된 Fig. 1의 모델링 결과 값이 같은 것을 확인 할 수 있었다.

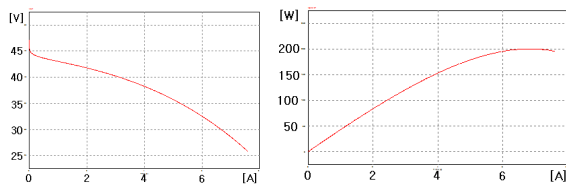


그림1 H-200 연료전지 모델링 V-I, P-I 곡선

Fig.1 Simulation result of the V-I, P-I curve about H-200 Fuel cell

이 제품의 연료전지 출력 특성을 고려하여 PSIM을 이용하여 Fig. 2와 같이 모델링 된 연료전지와 벡 컨버터를 연계하여 시뮬레이션 하였고, 출력에 따른 값이 Fig. 3과 같이 나오는 것을 확인하였다.

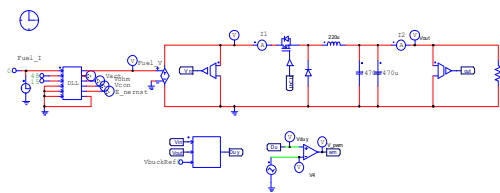


그림2 연료전지 모델링 및 벡 컨버터 시뮬레이션

Fig.2 Simulation of Fuel cell with Buck Converter

이때, 연료전지의 입력전압이 32V에서 26V로 떨어지는 것에 대하여 벡 컨버터의 출력 전압이 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있다.

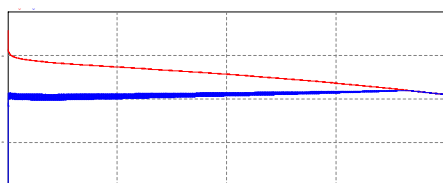


그림3 모델링 한 연료전지 및 벡 컨버터 시뮬레이션 결과

Fig.3 Simulation Result of Fuel cell with Buck Converter

2.3 실험

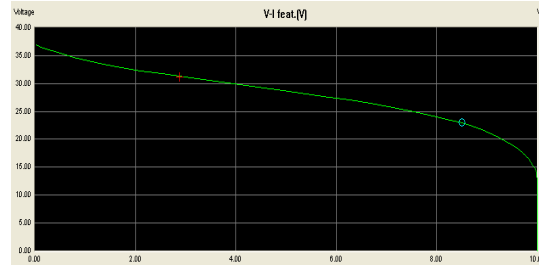


그림4 출력에 따른 시뮬레이터의 연료전지 전압
Fig.4 Fuel cell Voltage of Simulator

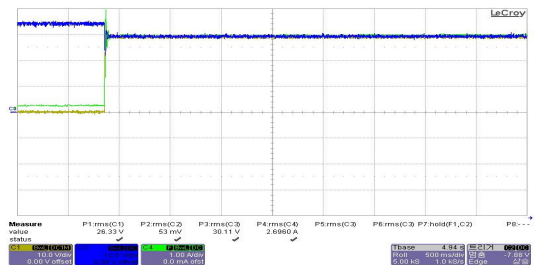


그림5 연료전지를 사용한 벡 컨버터 실험파형

Fig.5 Experiment of Buck Converter with Fuel Cell

실험결과 200W급 연료전지 모델링을 사용하여 출력전압 26V에 부하(7.2Ω)의 96W의 출력을 사용하였을 경우, 연료전지의 초기 Voc가 37V에서 31V로 떨어지는 것을 Fig 4의 시뮬레이터 모니터로 확인하였으며, 벡 컨버터 출력 파형에서는 d 연료전지 전압이 30.11V, 벡 컨버터는 26.33V의 출력전압으로 유지되는 것을 Fig. 5의 실험 파형으로 확인하였다.

3. 결론

본 논문에서는 PSIM을 사용하여 모델링으로 구현한 연료전지 모델링 및 벡 컨버터 시뮬레이션을 수행하였으며, 실제 실험실에서 하기 힘든 제약을 고려하여 모의전원장치를 사용하여 벡 컨버터 출력에 따른 연료전지의 I-V의 특성을 확인할 수 있었다.

본 연구는 교육과학기술부 대구경북과학기술원 일반사업(14-BD-01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Bong-Hee Park, "Fuel Cell Modeling with Output Characteristic of Boost Converter", Journal of the Korea Solar Energy Society, 2013.
- [2] Collen Spiegel, "PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab", Elsevier, 2008.