

단상 연료전지 발전장치의 PSIM 모델

엄준현*, 김재현*, 임영철*, 정영국**

*전남대학교 **대불대학교

PSIM Model of a Single-Phase Fuel Cell Power Generator

*J.H. Oum, *J.H. Kim, *Y.C Lim, **Y.G. Jung

*Chonnam National University, **Daebul University

ABSTRACT

일반적으로 마이크로 전원으로 연료전지 발전장치는 100w ~수백kw의 용량을 가지며 중전의 대규모 전력설비와 비교하여 높은 신뢰도를 갖는 고품질의 전력을 공급할 수 있다. 본 연구에서는 소형 분산에너지원으로서 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) 연료전지를 사용하는 발전장치의 PSIM 모델을 설정하고 부하변화에 대한 연료전지 발전장치의 출력전압의 강인성을 살펴보았다. 연료전지 발전장치의 교류출력의 강인성은 선형 부하 및 비선형 부하가 급변하는 과도상태에서 파악하였다.

기본 구성을 나타내고 있다. 연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의하여 직접 발전하는 직접 발전 방식이다. 연료는 기존의 화학 에너지를 개질(reforming)하여 수소를 발생시켜 사용하며 공기로부터 산소를 받아 전기와 물을 생산하게 된다. 따라서 연료전지는 발전효율이 높고 원천적으로 소음이 없으며 대기오염 물질을 배출하지 않는다. 또한 수요지 부근에 설치하여 송전설비 투자비 및 손실을 저감할 수 있다.

1. 서론

고유가에 대한 에너지 자원의 대처 수단으로 풍력 발전, 태양광 발전, 바이오매스 등 신재생 에너지원에 대한 연구가 진행 중이다. 이러한 대체 에너지 발전 중에서 연료전지(Fuel Cell)는 발전 효율이 40~60%정도이며, 연료전지의 전력생산을 위한 연료로 천연가스, 메탄올, 석탄가스등 다양한 연료를 사용할 수 있으며 배출가스 중 NO_x 나 SO_x 및 분진발생이 없고 고온의 증류수를 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 풍력 발전이나 디젤 발전 등 회전기기를 사용하는 발전방식에 비하여 소음이나 진동이 없으며 다량의 냉각수도 불필요하다. 또한 점유면적이 작아서 도심의 사무실 등에 설치 가능하여 소규모 또는 복합 구성이 가능하다[1,2].

본 연구에서는 소형 분산에너지원으로서 연료전지 발전장치를 위한 PSIM모델을 설정하고 부하에 따른 전원의 강인성을 조사하였다. 연료전지 발전장치는 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC)[3]를 직류전원으로 하고 있으며, 풀브리지 직류 컨버터 그리고 출력전압 피드백 루프를 갖는 단상 전압형 PWM 인버터로 구성되어 있다. 연료전지 발전장치 PSIM모델에 선형 부하와 비선형 부하를 연결하여 부하변동을 통해 강인성을 보이는지 파악하였다.

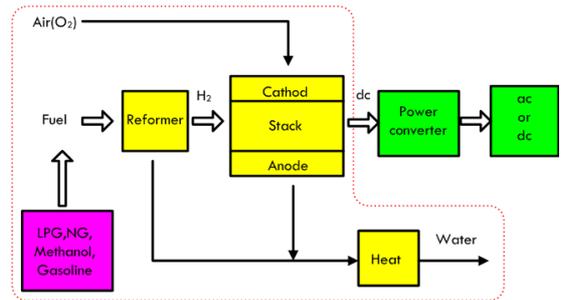


그림 1 연료전지 스택과 전력변환기
Fig.1 Fuel cells stack and power converter

2. 연료전지 RPG의 구성

그림 1은 일반적인 연료전지 스택을 이용한 전력변환장치의

그림 2는 본 연구에서 다루는 PEMFC연료전지를 이용하는 발전장치를 나타내고 있다. PEMFC로부터 발생된 40.6v의 직류전압을 풀 브리지 직류 컨버터에 의하여 288v로 승압한 후 단상 60Hz PWM인버터에 의하여 실효치 120v 교류전압으로 변환한다. PEMFC는 무 부하 출력전압이 일반적으로 48v이지만, 부하의 조건에 따라서 42v~60v로 출력전압이 변동하며 또한 시동 시간이 수초에서 수 십초로 매우 느린 시동 시간을 갖고 있다.

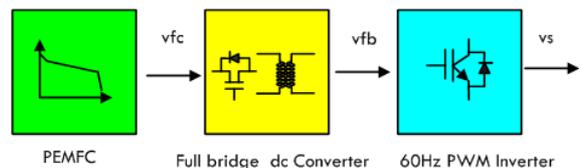


그림 2 PEM 연료전지 발전장치
Fig.2 PEM fuel cell power generator

2.1 연료전지

그림 3은 PEMFC의 V-I특성 곡선을 나타내고 있다. 본 연구에서 직류전원으로 사용하는 PEMFC 연료전지 모델은 Ballard NEXA (1.2kw)이며 그림 4와 같이 buck-컨버터를 연료전지 시뮬레이터로 사용하였다. buck-컨버터를 연료전지 시뮬레이터로 사용할 수 있는 이유는 그림 3의 PEMFC V-I특성 곡선 중 연료전지가 대부분 동작하는 영역인 Ohmic loss영역을 1차 방정식으로 모델링 하여 buck-컨버터를 제어할 수 있기 때문이다. 그림 3의 Ohmic loss영역은 (1)과 같이 1차 방정식으로 구해진다[4,5].

$$v_{fc}(i_{fc}) = v_{fci} \quad (0 < i_{fc} < i_{fci})$$

$$v_{fc}(i_{fc}) = \left[\frac{v_{fcf} - v_{fci}}{i_{fcf} - i_{fci}} \right] i_{fc} - \left[\frac{v_{fcf} - v_{fci}}{i_{fcf} - i_{fci}} i_{fci} - v_{fci} \right] \quad (i_{fci} < i_{fc} < i_{fcf})$$

$$v_{fc}(i_{fc}) = 0 \quad (i_{fc} > i_{fcf}) \quad (1)$$

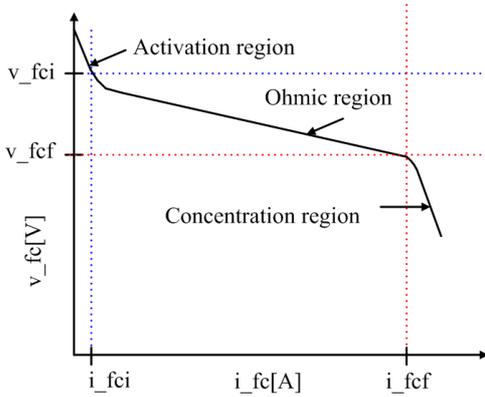


그림 3 PEMFC의 V-I곡선
Fig. 3 V-I curve of the PEMFC

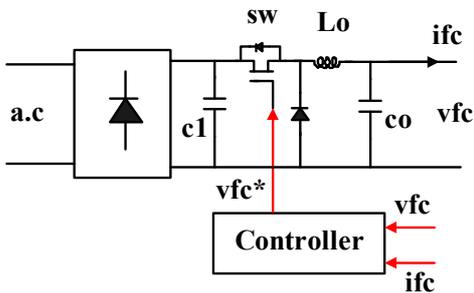


그림 4 PEMFC 시뮬레이터로서 buck컨버터
Fig. 4 Buck converter as a PEMFC simulator

2.2 풀 브리지 직류컨버터

그림 5는 PEMFC의 40.6v의 직류전압을 288v 직류전압으로 승압하기위한 풀 브리지 직류 컨버터를 나타내고 있다. 풀 브리지 방식은 다른 방식에 비하여 소자 수가 많이 필요하나 전류정격이 크기 때문에 연료전지에 적합한 방식이다.

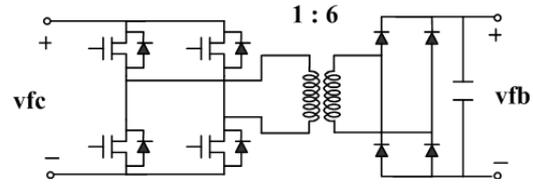


그림 5 풀 브리지 직류컨버터
Fig.5 Full bridge dc converter

2.3 60Hz PWM 인버터

그림 6은 풀 브리지 직류 컨버터에 의하여 288v로 승압된 직류전압을 실효치 120v 교류전원으로 변환하는 인버터를 나타내고 있다. 출력 교류전압의 최대치는 출력전압 피드백 루프에 의하여 일정하게 유지된다.

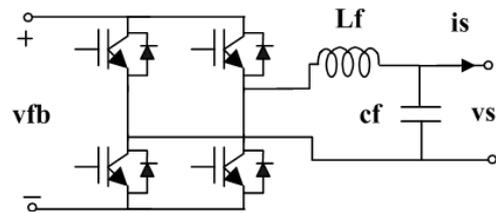


그림 6 60Hz PWM 인버터
Fig.6 60Hz PWM inverter

3. 모의실험 검증

그림 7은 본 연구의 연료전지 발전장치의 PSIM모델을 나타내고 있으며 비선형 부하가 연료전지 발전장치와 연계된 시스템을 나타내고 있다.

PEMFC는 Ballard NEXA (1.2kw) 연료전지를 모델[3]로 하였으며 48v의 정격전압을 가지고 있다. 10kHz의 스위칭 주파수로 동작하는 풀 브리지 직류컨버터는 고주파 링크 변압기(1:6)를 포함하고 있으며, 40.6v의 PEMFC 직류전압을 $v_{fb} = 288v$ 로 승압한다. PWM인버터는 10kHz 주파수를 갖는 SPWM (Sinusoidal PWM)방식에 의하여 $v_{fb} = 288v$ 를 교류전압으로 변환하며, 최종적으로 7mH와 1000uF의 L_f-C_f 필터에 의하여 실효치 $v_s = 120v/60Hz$ 의 정현파 교류전압이 출력된다. 이 교류전압을 소형 분산 에너지원으로 하여 비선형 다이오드 정류부하에 인가하고 있는 시스템이다.

그림 8은 본 연구의 연료전지 발전장치의 직류전원으로 사용한 PEMFC의 V-I-P(전압-전류-출력)과형을 모의 실험한 결과이다. 매 0.05s마다 저항 부하를 20번 증가한 결과, 실제 Ballard NEXA (1.2kw) 연료전지와 유사한 특성을 얻을 수 있었다. 그림 9은 본 연구에서 모델링 한 PEMFC의 동특성을 나타내고 있다. 0.3s지점에서 부하가 20A→37A로 급증하는 경우, 약 20ms지연하고 난 후 전압은 35V→28V로 감소되는데 이는 그림 8의 0.8s지점에서의 V-I-P곡선에서 그 특성을 살펴볼 수 있다.

그림 10은 연료전지 발전장치의 풀 브리지 직류 변환기의 출력전압 v_{fb} 와 PEMFC의 무부하 전압 v_{fc} 를 서로 비교한 것이다. 연료전지 시뮬레이터의 출력전압 $v_{fc} = 40.6$ 를 풀 브리지 직류 변환기에 의하여 $v_{fb} = 288v$ 의 직류전압으로 승압시킬 수 있음을 알 수 있다.

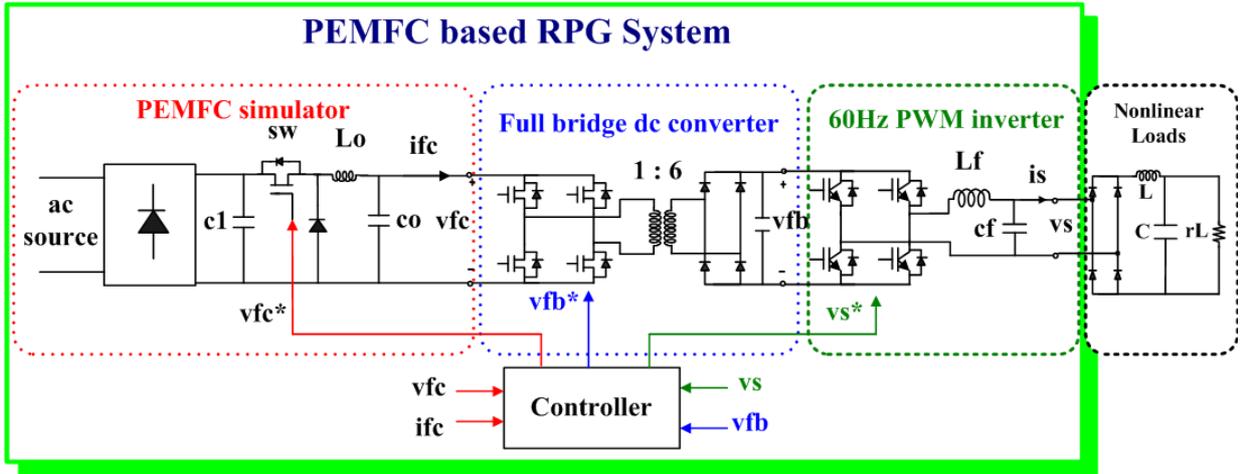


그림 7 단상 연료전지 발전장치
Fig.7 Single-Phase Fuel cell power generator

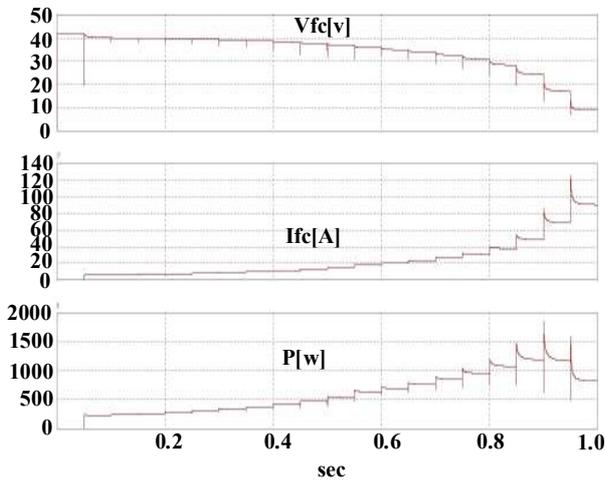


그림 8 PEMFC의 V-I-P곡선
Fig. 8 V-I-P curve of PEMFC

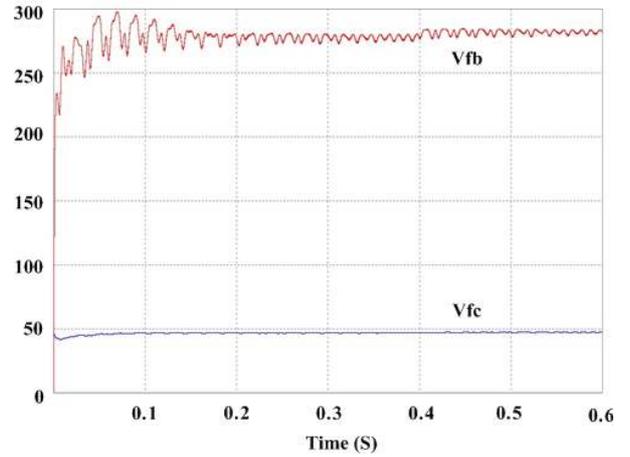


그림 10 연료전지 발전장치의 직류전압
Fig. 10 Dc voltages of a fuel cell power generator

그림 11은 본 연구에서의 연료전지 발전장치의 PSIM모델이 소형 분산에너지원으로 동작하는지 R-부하와 다이오드 비선형 부하를 연결하여 그 특성을 살펴보았다. 우선 그림 11(a)는 R-부하(8.3Ω)인 경우로서 $v_s = 168\text{v}$ ($120v_{\text{rms}}$) 및 $i_s = 20\text{A}$ 에 대해 일정한 정현파를 보이고 있다. 그림 11(b)는 $L = 2.5\text{mH}$, $C = 1000\mu\text{F}$, $Z = 6\Omega$ 인 다이오드 비선형 부하조건에 대한 v_s 와 i_s 를 나타낸 것이다. 그림 11(a)와 비교해 보면 v_s 가 약간 왜형되어 있는데 이는 스파이크 형태의 비선형 부하전류에 기인한 것이다.

그림 12는 부하변동이 발생한 경우의 과도상태의 특성을 나타낸 것이다. 부하가 변동하더라도 연료전지 발전장치의 출력 교류전압은 거의 변동하지 않으며 선형 및 비선형 부하 특성은 배전계통 망이 연결된 경우와 동일함을 알 수 있었다.

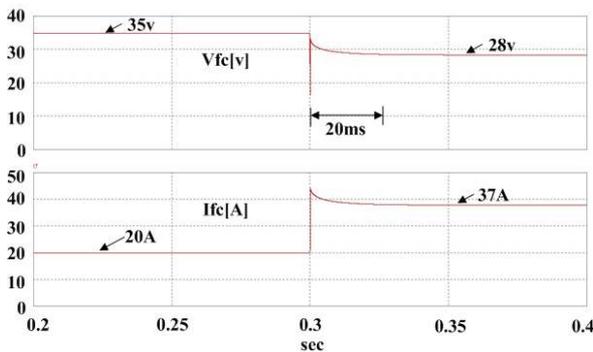
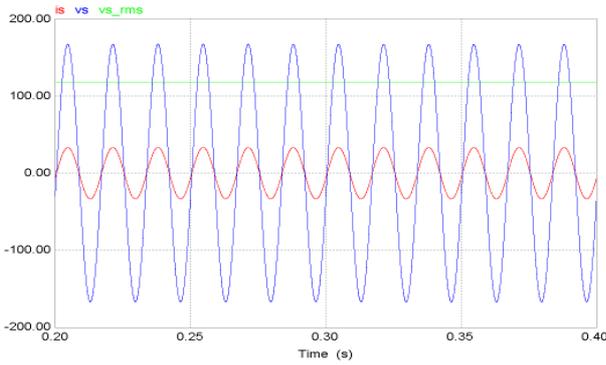
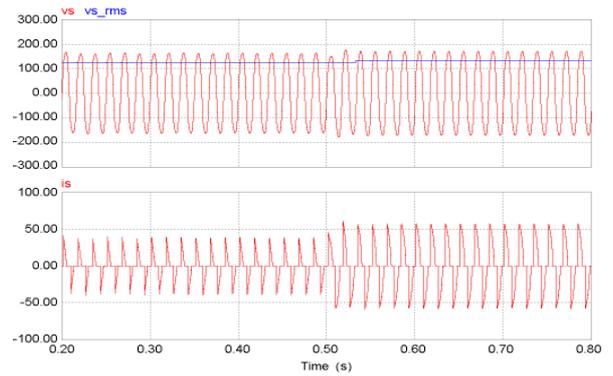


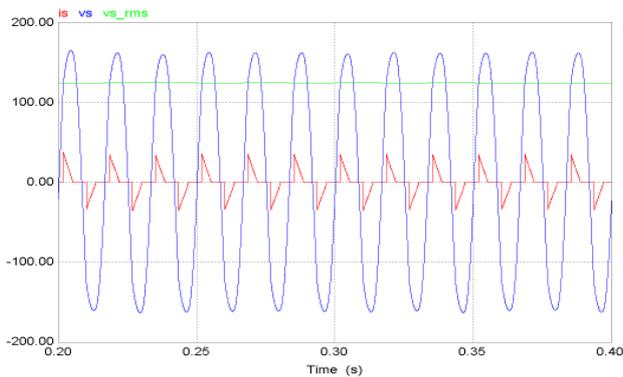
그림 9 100% 부하 증가에 따른 PEMFC의 동 특성
Fig. 9 Dynamic response of PEMFC to a 100% step increase



(a) R-load(8.3Ω)



(b) Nonlinear diode load ($L_1=2.5\text{mH}, c_1=1000\mu\text{F}, R_1=6\Omega \rightarrow 3.8\Omega$)

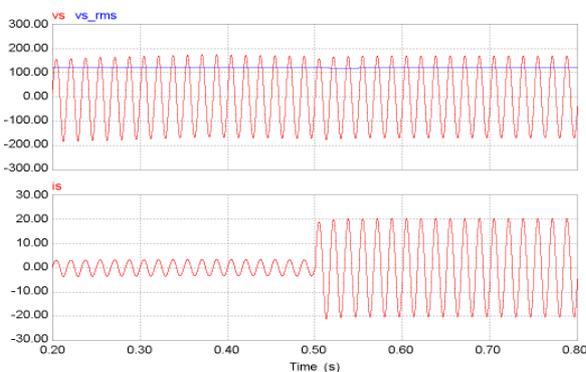


(b) Nonlinear diode load($L_1=2.5\text{mH}, c_1=1000\mu\text{F}, R_1=6\Omega$)

그림 11 정상상태에서의 v_s 와 i_s

Fig.11 v_s and i_s in steady state

그림 9는 그림 8에 대한 과도상태에서의 특성을 나타낸 것이다. 그림 9(a)는 $R=50\Omega \rightarrow 8.3\Omega$ 로 급감하는 경우에 대한 것이며, 그림 9(b)는 그림 8(b)와 동일한 조건하에서 부하저항만 $R_1=6\Omega \rightarrow 3.8\Omega$ 로 감소하는 경우에 대한 연료전지 발전장치의 출력을 각각 나타낸 것이다. 부하의 종류나 전류 i_s 의 변동에 대하여 전압 v_s 에는 거의 영향이 없는 것으로 보아 본 연구의 연료전지 발전장치 모델은 소형 분산에너지원으로서 조건을 만족한 것으로 보인다.



(a) R-load($50\Omega \rightarrow 8.3\Omega$)

그림 12 과도상태에서의 v_s 와 i_s

Fig.12 v_s and i_s in transient state

4.결론

본 연구에서는 단상 연료전지 발전장치에 대한 PSIM 모델과 교류 출력전압의 강인성을 부하에 대하여 고찰하였다. 연료전지 발전장치는 PEMFC, 풀 브리지 직류컨버터 그리고 60Hz PWM인버터와 L-C출력 필터로 구성되었다. 소형 분산에너지원으로서 연료전지 발전장치의 PSIM모델은 R-부하와 비선형 부하의 변동에 대한 전압 전압의 강인성으로 평가하였다.

This study was supported by the Research Center for Large-Scale Distributed Generation in KOREA

참고 문헌

- [1] 최상열, 박지웅, 이종주, "연료전지 발전시스템의 PSCAD/EMTDC모델링 및 계통연계에 따른 전력신호 분석에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제22권 제5호, pp.21-30, 2008
- [2] S. Chakraborty, M.G. Simoes, "Advanced active filtering in a single phase high frequency ac microgrid", in Conf. Rec. of IEEE PESC'06, 2006, pp.191-197.
- [3] 최우진, "양자 교환막형 연료전지의 등가임피던스 모델을 이용한 인버터에 의한 맥동전류의 영향에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제18권 제6호, pp.230-237, 2004
- [4] P.J.H. Wingelaar, J.L. Duarte, and M.A.M. Hendrix, "Dynamic characteristics of PEM fuel cells", in Conf. Rec. of IEEE PESC'05, 2005, pp.1635-1641.
- [5] Y.R. de Novaes, R.R. Zapelini, and I. Barbi, "Design considerations of a long term single-phase uninterruptible power supply based on fuel cells", in Conf. Rec. of IEEE PESC'05, 2005, pp.1628-1634.