

연료전지 마이크로 소스와 능동전력필터 시스템

엄준현*, 정영국**, 김광현*, 임영철*

*전남대학교 전기공학과 **대불대학교 컴퓨터정보공학부

A Fuel Cells Micro-Source Connected Active Power Filter System

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

*Chonnam National University, **Daebul University

ABSTRACT

일반적으로 마이크로 소스는 1kw -수 Mw의 용량을 가지며 중전의 대규모 전력설비와 비교하여 높은 신뢰도를 갖는 고품질의 전력을 공급할 수 있다. 본 연구에서는 소형 분산에너지원으로서 연료전지 마이크로 소스의 특성을 살펴보기 위하여 능동전력필터를 마이크로 소스와 병렬 연결하여 고조파 보상성능을 평가하였다. 본 연구는 PSIM상에서 구현하였으며 정상상태 및 과도상태에서 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

마이크로 그리드(Micro Grid)는 소형 분산에너지원으로 이루어진 분산 전원망의 추경으로 다수의 수용가를 위하여 수요지에서 전력을 생산 및 공급하는 기술로 기본적으로 여러 수용가의 부하 및 분산 발전기들이 하나의 덩어리를 형성하게 되는 새로운 개념의 배전망이다. 일반적으로 마이크로 소스(Micro Source)는 전력이 d.c전원을 생산하고 V-소스 인버터를 사용하여 a.c전원을 발생하는 방식을 채택하고 있다^[1,2].

본 연구에서는 마이크로 그리드^[1]를 구성하고 있는 개개의 마이크로 소스가 소형 분산에너지원으로서의 특성을 가지고 있는지 검증하기 위한 PSIM시뮬레이션 모델을 개발하였다. 마이크로 소스 모델은 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC)^[3]를 전원으로 하고 있으며, 풀브리지 d.c컨버터 그리고 출력전압 피드백 루프를 갖는 단상 V-소스 PWM 인버터로 구성되어 있다^[4]. 연료전지 마이크로 소스 모델에 선형 부하와 비선형 부하를 연결하여 이들이 실제 배전계통에서와 동일한 특성을 보이는지 확인하였으며, 또한 마이크로 소스 환경 하에 있는 능동전력필터의 보상성능의 양호함을 정상상태와 과도상태에서 검증하였다.

2. 연료전지 마이크로 소스

그림 1은 본 연구에서 다루는 마이크로 소스의 기본적인 구성을 나타내고 있다. PEMFC 연료전지로부터 발생된 40.6v의 d.c전압을 풀 브리지 d.c컨버터에 의하여 288v로 승압한 후 단상 PWM인버터에 의하여 실효치 120v a.c전원으로 변환하는 구성을 갖고 있다.

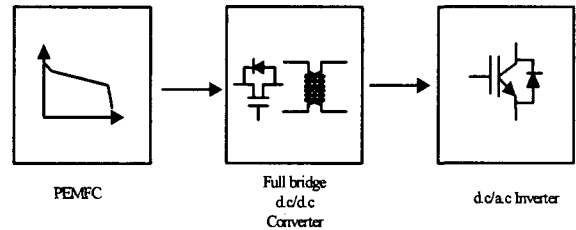


그림 1 마이크로 소스 시스템
Fig.1 Micro-Source System

2.1 연료전지

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의하여 직접 발전하는 직접 발전방식이다. 연료는 기존의 화학 에너지를 개질하여 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. PEMFC는 무부하 출력전압이 일반적으로 48v이지만, 부하의 조건에 따라서 42v-60v로 출력전압이 변동하며 또한 시동 시간이 수초에서 수 십초로 매우 느린 시동 시간을 갖고 있다. 그림 2는 PEMFC의 등가회로를 나타내고 있다.

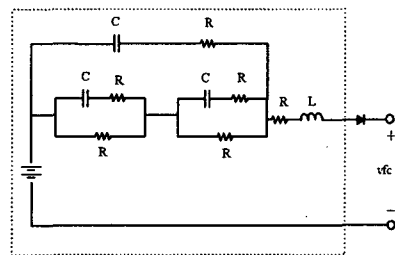


그림 2 PEMFC의 등가회로^[3]
Fig.2 Equivalent circuit of the PEMFC

2.2 풀브리지 d.c컨버터

그림 3은 PEMFC의 40.6v의 d.c전압을 288v d.c전압으로 승압하기위한 풀브리지 d.c컨버터를 나타내고 있다. 풀브리지 방식은 다른 방식에 비하여 소자 수가 많이 필요하나 전류정격이 크기 때문에 연료전지에 적합한 방식이다.

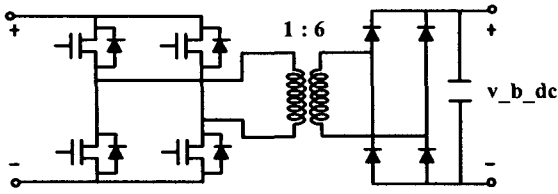


그림 3 풀브리지 d.c 컨버터
Fig.3 Full bridge d.c converter

2.3 PWM 인버터

그림 4는 풀브리지 컨버터에 의하여 288v로 승압된 d.c 전압을 실효치 120v ac 전원으로 변환하는 인버터를 나타내고 있다. 출력 ac 전압의 최대치는 출력전압 피드백 루프에 의하여 일정하게 유지되고 있다.

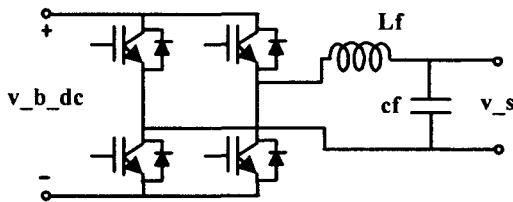


그림 4 PWM 인버터
Fig.4 PWM inverter

3. 능동전력필터 시스템 [5,6]

단상의 비선형 부하에 인가되고 있는 순시 전원전압 v_s 과 순시 전원전류 i_s 는 다음으로 표현 가능하다.

$$v_s = \sqrt{2}E\sin\omega t \quad (1)$$

$$i_s = \sum \sqrt{2}I_m \sin(n\omega t - \phi_n) \quad (2)$$

$$= i_a + i_r \quad (3)$$

여기서 i_a , i_r 는 각각 유효전류와 무효전류 성분이며, 유효전류 i_a 는 (4)와 같이 계산된다.

$$i_a = k_{pi}(v_{ref} - v_{dc})\sin\omega t \quad (4)$$

이상의 i_a 를 이용하면 결과적인 능동전력필터의 보상기준치 i_{c*} 은 (5)와 같게 된다.

$$i_{c*} = i_s - i_a \quad (5)$$

그림 5는 능동전력필터의 제어 블록선도이며 정류된 d.c 전압 v_{dc} 를 일정전압으로 제어하기 위한 부분과 보상기준전류 i_{c*} 를 추종하기 위한 히스테리시스(H.C)제어기로 구분된다. 또한 i_{c*} 의 연산은 전압확립 기준치 v_{ref} 과 d.c 전압 v_{dc} 의 차에 대해 전원전압 v_s 를 곱한 후, 전원전류 i_s 와의 차로부터 얻어진다.

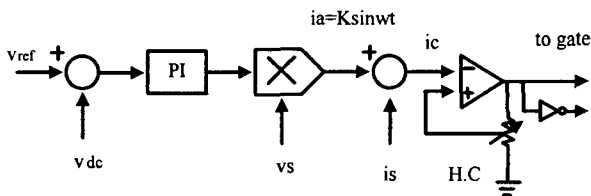


그림 5 능동전력필터의 제어 블록선도
Fig.5 Control block diagram of the active power filter

4. 시스템 구성

그림 6은 본 연구의 주안점인 마이크로 소스와 비선형 부하 그리고 능동전력필터가 서로 연계된 시스템을 나타내고 있다. PEMFC는 AvistaLab SR-12(500W)을 모델로 하였으며 48v의 정격전압을 가지고 있다. SR-12(500W)는 무부하 전압 $v_{fc} = 40.6v$, 정격전압 $v_{base} = 28.9v$, 정격전류 $i_{base} = 17.3A$ 의 규격을 갖고 있다^[3]. 10kHz의 스위칭 주파수로 동작하는 풀브리지 d.c 컨버터는 고주파 링크 변압기(1:6)를 포함하고 있으며, 40.6v의 PEMFC d.c 전압을 $v_{b,dc} = 288v$ 로 승압한다. PWM인버터는 10kHz 주파수를 갖는 SPWM방식에 의하여 $v_{b,dc} = 288v$ 를 ac 전압으로 변환하며, 최종적으로 7mH와 1000uF의 L_f - C_f 필터에 의하여 실효치 $v_s = 120v/60Hz$ 의 정현파 ac 전압이 출력된다. 이 ac 전압을 소형 분산 에너지원으로 하여 비선형 다이오드 정류 부하에 인가하고 있으며, 이 부하에서 마이크로 소스 측으로 발생하는 고조파를 능동전력필터가 보상하는 시스템이다.

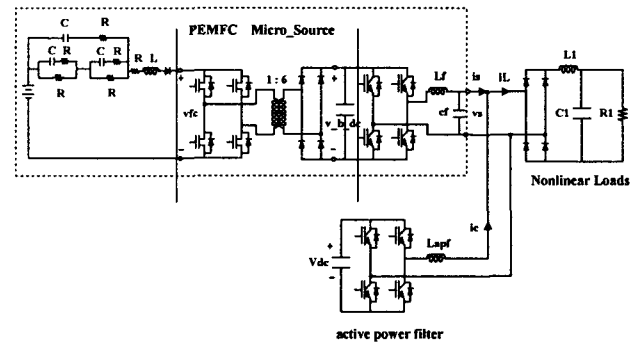


그림 6 마이크로 소스와 능동전력필터 시스템
Fig.6 Micro-source and active power filter system

5. 모의 실험결과 및 고찰

그림 7은 마이크로 소스의 풀브리지 컨버터의 d.c 출력전압 $v_{bridge,dc}$ 와 PEMFC의 무부하 전압 v_{fc} 를 나타내고 있다. $v_{fc} = 40.6$ 은 $v_{bridge,dc} = 288v$ 의 d.c 전압으로 승압되고 있으며, 일정하게 유지하고 있음을 알 수 있다.

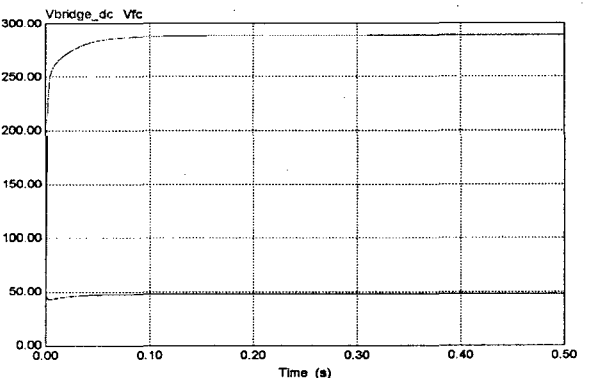
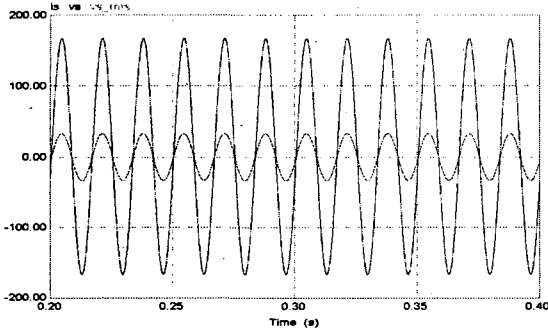


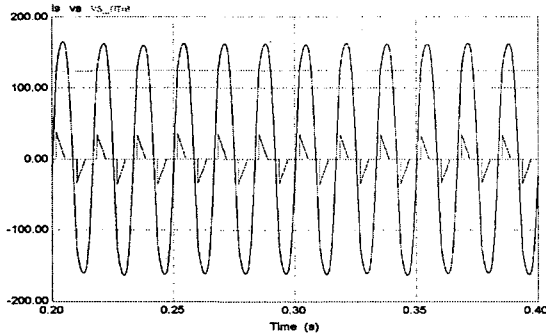
그림 7 $v_{bridge,dc}$ 와 v_{fc}
Fig.7 $v_{bridge,dc}$ and v_{fc}

그림 8은 본 연구에서의 마이크로 소스 모델이 소형 분산 에너지원으로 동작하는지 R-부하와 다이오드 비선형 부하를 연결하여 그 특성을 살펴보았다. 우선 그림 8(a)는 R-부하(8.3Ω)인 경우로서 $v_s = 168v(120v_{rms})$ 및 $i_s = 20A$ 에 대해 일정한 정현파를 보이고 있다. 그림 8(b)는 $L_1 = 2.5mH$, $c_1 = 1000uF$, $R_1 = 6Ω$ 인 다이오드 비선형 부하조건에 대한 v_s 와 i_s 를 나타낸 것이다.

그림 8(a)와 비교해 보면 v_s 가 약간 왜곡되어 있는데 이는 스파이크 형태의 비선형 부하전류에 기인한 것이다. 그림 9는 부하변동이 발생한 경우의 과도상태의 특성을 나타낸 것이다. 부하가 변동하더라도 마이크로 소스의 출력 ac전압은 거의 변동하지 않으며 선형 및 비선형 부하특성은 배전계통 망이 연결된 경우와 동일함을 알 수 있었다.



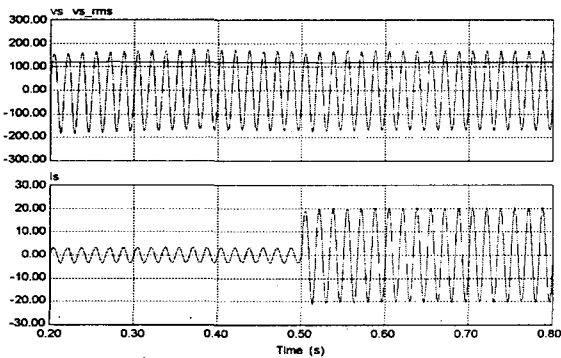
(a) R-load(8.3Ω)



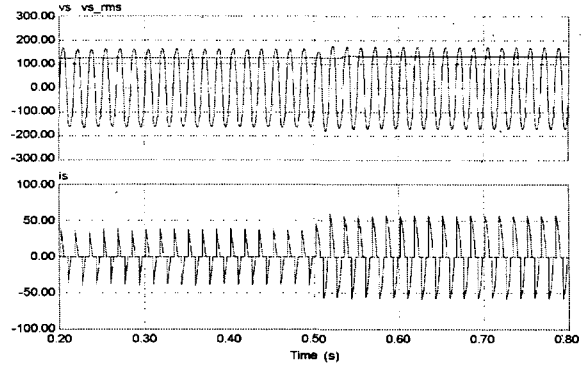
(b) Nonlinear diode load($L_1=2.5\text{mH}, c_1=1000\mu\text{F}, R_1=6\Omega$)

그림 8 정상상태에서의 v_s 와 i_s
Fig.8 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 마이크로 소스의 출력을 각각 나타낸 것이다. 부하의 종류나 전류 i_s 의 변동에 대하여 전압 v_s 에는 거의 영향이 없는 것으로 보아 본 연구의 마이크로 소스 모델은 소형 분산에너지원으로서 조건을 만족한 것으로 보인다.



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



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

그림 9 과도상태에서의 v_s 와 i_s
Fig.9 v_s and i_s in transient state

그림 10은 다이오드 비선형 부하가 발생하는 고조파 전류를 마이크로 소스 환경 하의 능동전력필터가 보상한 결과를 나타내고 있다. 스파이크 형태의 부하전류 i_L 과 무관하게 전원전류 i_s 는 전압 v_s 와 서로 동상이며 정현파이다. 여기서 주목할 점은 보상과정 동안 마이크로 소스 전압 v_s 는 168V의 정현파 전압을 일정하게 유지하고 있다는 것이다.

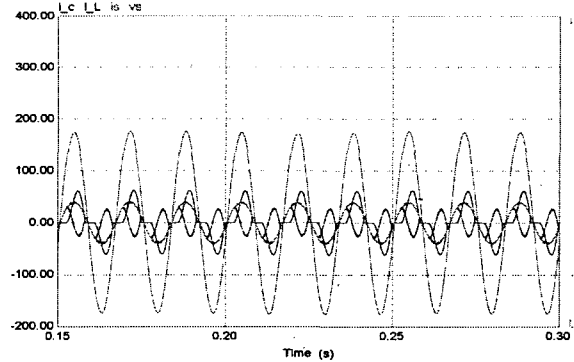


그림 10 v_s, i_s, i_L, i_c 그리고 V_{dc}
Fig.10 v_s, i_s, i_L, i_c and V_{dc}

즉 일반적인 배전계통 망에서 능동전력필터가 동작하는 경우와 마찬가지로 마이크로 소스 환경 하에서도 동일한 성능을 발휘하였다. 그림 11은 i_s 와 i_L 에 대한 고조파 스펙트럼을 분석한 결과이다.

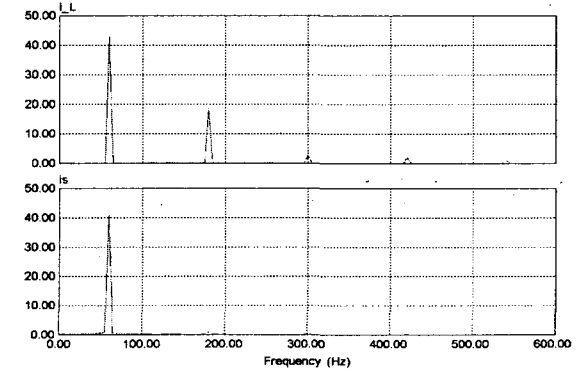


그림 11 i_s, i_L 에 대한 고조파 스펙트럼
Fig.11 Harmonics spectra of the i_s, i_L

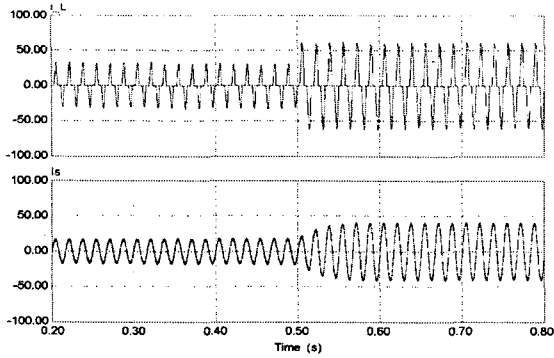


그림 12 과도상태에서의 i_s , i_L
 $(L_1=2.5\text{mH}, C_1=1000\mu\text{F}, R_1=6\Omega \rightarrow 3.8\Omega)$
 Fig.12 i_s , i_L in transient state
 $(L_1=2.5\text{mH}, C_1=1000\mu\text{F}, R_1=6\Omega \rightarrow 3.8\Omega)$

그림 12은 다이오드 비선형 부하가 그림 8(b)와 동일한 조건($L_1=2.5\text{mH}$, $C_1=1000\mu\text{F}$)에서 R_1 이 $6\Omega \rightarrow 3.8\Omega$ 으로 감소하는 과도상태에 대한 능동전력필터의 보상성능을 나타낸 것이다. 마이크로 소스 환경 하에서 동작하는 능동전력필터는 과도상태에서도 보상성능이 양호함을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 마이크로 소스와 연계한 능동전력필터에 대한 PSIM 시뮬레이션 모델에 대하여 고찰하였다. 마이크로 소스는 PEMFC, 풀브리지 dc컨버터 그리고 PWM인버터와 출력 필터로 구성되었다. 소형 분산 에너지원으로서 마이크로 소스의 성능 평가는 R-부하와 비선형 부하에 대한 소스 전압의 강인성으로 평가하였다. 또한 정상상태 및 과도상태에 대한 마이크로 소스환경 하에서 능동전력필터의 보상성능은 일반 배전 계통 망에서와 동일한 성능을 발휘하였다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터(RRC) 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

참고 문헌

- [1] S. Chakraborty, M.G. Simoes, "Advanced active filtering in a single phase high frequency ac microgrid", in Conf. Rec. of IEEE PESC'06, pp.191-197.
- [2] 손광명, 이계병, 김영섭, "SVPWM방식 마이크로소스로 구성된 마이크로그리드 모델링 및 해석", 한국조명전기설비학회 논문지 제20권 제3호, pp.12-19, 2006
- [3] 최우진, "양자 교환막형 연료전지의 등가임피던스 모델을 이용한 인버터에 의한 맥동전류의 영향에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제18권 제6호, pp.230-237, 2004
- [4] 이태원, 장수진, 김진태, 구자성, 원충현, 김창현, "연료전지 Simulator에 의한 PWM컨버터/인버터 구동시스템에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 제9권 제2호, pp. 222-230, 2004
- [5] 엄준현, 정영국, 임영철, "연료전지 Z-소스 능동전력필터의

- 병렬운전 시스템", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 부문회 춘계학술대회논문집, pp.372-375, 2006
- [6] 엄준현, 정영국, 임영철, "기 설치된 능동전력필터와 연료전지 Z-소스 능동전력필터의 병렬운전", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 춘계학술대회논문집, pp.376-379, 2006