

연료전지 마이크로 소스와 연계한 Harmonic Reducer(H.R)컨버터

엄준현*, 정영국*, 임영철*
*전남대학교, *대불대학교

A Harmonic Reducer(H.R) Converter Connecting a Fuel Cells Micro-Source

*J.H.Oum, *Y.G.Jung, *Y.C.Lim
*Chonnam National University, *Daebul University

Abstract - 본 연구에서는 연료전지 마이크로 소스와 연계된 Harmonic Reducer(H.R)컨버터 시스템을 제안하였다. 이 시스템에 의하여 마이크로 소스의 ac출력전류를 정현파로 개선할 수 있었다. 또한 H.R컨버터의 dc단 전압과 전류의 리플은 Zero Ripple(Z.R)필터를 설치하여 제거할 수 있었다. 본 연구의 타당성을 PSIM 시뮬레이션에 의하여 확인하였으며 그 유용성을 입증하였다.

료는 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 등가회로[6]를 나타내고 있다.

1. 서 론

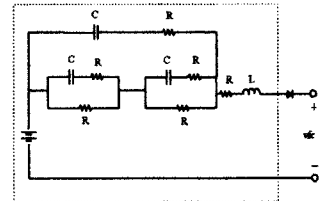


그림 2 PEMFC의 등가회로

일반적으로 마이크로 소스는 전력원이 dc전원을 생산하고 V-소스 인버터를 사용하여 ac전원을 발생하는 방식을 채택하고 있다[1]. 특히 모션 축과 고립되어 독립운전을 하는 마이크로 소스의 경우에는 부하의 종류에 따라서 전력품질이 결정되기 때문에 전력계통의 전원에 비하여 고 전력 품질을 유지하는 것이 중요하다[2]. 이를 위해서 교류전압 보상기와 능동전력필터를 마이크로 소스에 연계하는 방법[2,3] 등이 있다.

본 연구에서는 H.R컨버터[4]를 저전력의 정류기 등에 개별적으로 탑재하여, 근본적으로 마이크로 소스의 ac출력 전류를 정현파로 개선하는 방법을 제시하였다. H.R컨버터는 이미 설치되어 운전 중인 입력역률 보정기능이 없는 dc 컨버터를 위한 입력역률 보정 컨버터이다. 또한 H.R컨버터의 dc측 전압과 전류에 있는 리플성분은 coupled inductor와 capacitor로 구성된 Z.R 필터[5]에 의하여 제거하였다. 특히 직류 출력 콘덴서를 Z.R필터의 뒷단에 설치하여 역률이 보정된 입력교류 전류의 스파이크를 저감하였다. PSIM 시뮬레이션에 의하여 제안된 방법의 우수성을 검증하였다

2.2 풀브리지 d.c변환기

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.

2. 연료전지 마이크로 소스

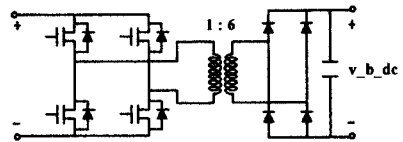


그림 3 풀브리지 d.c컨버터

그림 1은 일반적인 마이크로 소스를 나타내는 구성도이다. 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC)[6]에서 발생된 40.6v의 dc전압을 풀 브리지 dc컨버터에 의하여 288v로 승압한 후 단상 PWM인버터에 의하여 실효치 120v ac전원으로 변환하는 형태로 되어있다.

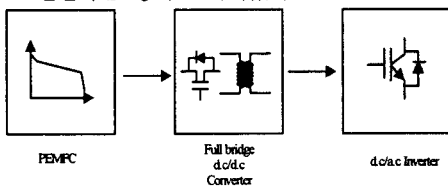


그림 1 마이크로 소스 시스템

2.3 PWM인버터

그림 4는 풀브리지 컨버터에 의하여 288v로 승압된 d.c전압을 실효치 120v ac전원으로 변환하는 인버터를 나타내고 있다. 출력 a.c전압의 최대치는 출력전압 v_s 과 드백 루프에 의하여 일정하게 유지되고 있다.

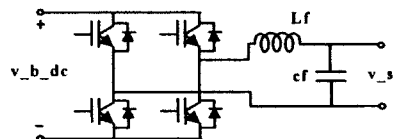


그림 4 PWM 인버터

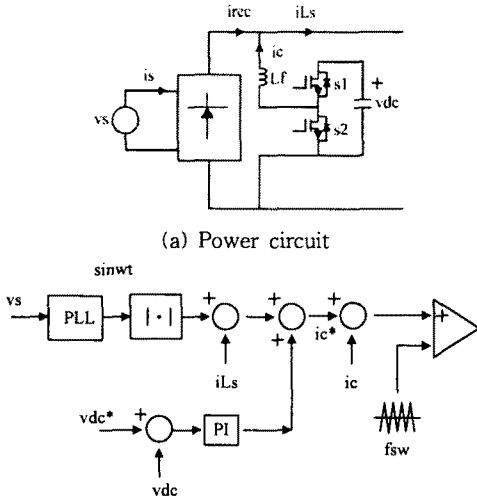
2.1 연료전지

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의하여 직접 발전하는 직접 발전방식이다. 연

3. Z.R필터를 갖는 H.R컨버터

3.1 H.R 컨버터

H.R 컨버터는 Harmonic Reducer Converter로서 입력 ac전류를 정현파로 보정해주는 모듈형 컨버터이다. 이 컨버터는 교류전류에 함유되어 있는 고조파를 제거하는 능동필터와 그 구조와 동작원리가 동일하다. 그림 5에 H.R 컨버터의 구조와 역률(p.f)보정 알고리즘을 나타내었다.



(a) Power circuit

(b) power factor(p.f) correction algorithm

그림 5 H.R 컨버터와 역률보정 알고리즘

3.2 Z.R 필터

그림 6(a)는 coupled inductor와 capacitor로 구성된 Z.R필터인데 전형적인 two-port 네트워크 모음을 보이고 있다. v_n 이 리플(교류)이 포함된 직류전압이고, V_q 는 순수한 직류전압이라 할 때 이들 사이에는 다음의 관계로 정리할 수 있다.

$$v_n = \bar{V}_n + \tilde{v}_n, \quad \bar{V}_q \rightarrow \bar{V}_n = v_n - \tilde{v}_n, \quad \tilde{v}_q = 0 \quad (1)$$

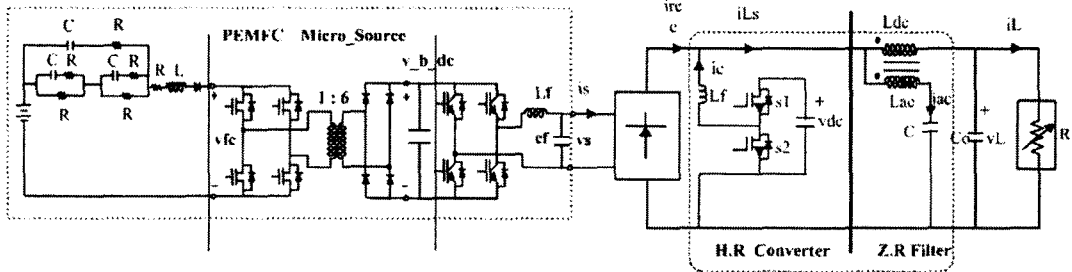


그림 7 제안된 시스템

그림 6(b)는 Z-R필터의 T-등가회로를 나타낸 것이다. k는 결합계수($0 < k < 1$)이며, 회로의 ripple gain은 (2)로 유도되어진다.

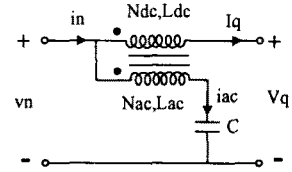
$$\frac{V_q}{v_n} = \frac{L_b}{L_a + L_b} = 1 - k \sqrt{\frac{L_{dc}}{L_{ac}}} \quad (2)$$

이때 출력단자의 제로 리플 조건은 다음과 같다.

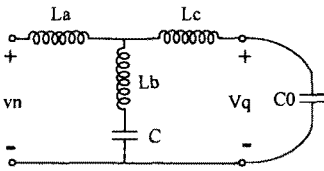
$$Z.R \text{ 조건} : k = \sqrt{\frac{L_{ac}}{L_{dc}}} < 1 \quad (L_{ac} < L_{dc}) \quad (3)$$

그림 6(a)는 2차 저역통과필터(LPF), 4차 LPF 그리고 2차 노치필터, 4차 노치필터 등 여러 모드로 동작 가능하며, 그중에서 2차 LPF 모드에 대한 전달함수는 다음으로 표현된다.

$$\frac{V_q}{v_n} = \frac{1}{1 + S^2 L_{ac} C} \quad (\omega_o = \frac{1}{L_{ac} C}) \quad (4)$$



(a) Structure



(b) T-equivalent circuit

그림 6 제로리플(Z.R) 필터

4. 모의실험 및 고찰

그림 7은 마이크로 소스와 H.R컨버터가 연계된 시스템을 나타내고 있다. PEMFC는 AvistaLab SR-12 (500W)을 모델로 하였으며 48v의 정격전압을 가지고 있다. 10kHz의 스위칭 주파수로 동작하는 풀브리지 dc컨버터는 고주파 링크 변압기(1:6)를 포함하고 있으며, 40.6v의 PEMFC dc 전압을 $v_{b,dc}=288v$ 으로 승압한다.

PWM인버터는 10kHz 주파수를 갖는 SPWM방식에

의하여 $v_{b,dc}=288v$ 를 ac전압으로 변환하며, 최종적으로 7mH와 1000uF의 L_f -C필터에 의하여 $v_o = 155v(\text{peak})/60\text{Hz}$ 의 정현파 ac전압이 출력된다. 이 ac전압을 소형 분산 에너지원으로 하여 비선형 다이오드 정류부하에 인가하고 있으며, 이 부하에서 마이크로 소스 측으로 발생하는 고조파를 H.R컨버터가 보상하는 시스템이다.

H.R컨버터는 6.6kw급으로 부하 R은 dc 컨버터나 PWM인버터의 등가 저항으로 2-50Ω의 값을 갖고 있다.

이 회로의 전체 성능에 영향을 주는 파라미터로는 L_f 값과 결합계수 k 이다. L_f 는 약 1mH로 결정하였는데, 이는 ac전류 파형의 %THD에 영향을 준다.

표 1 H.R 컨버터의 파라미터

$v_s/i_s(\text{peak})$	110v/60A, 6.6kw
V_{dc}	300v
f_{sw}	50kHz, SPWM
L_f	1mH
coupled inductor	$L_{dc}=148.9\mu\text{H}$, $L_{ac}=148.5\mu\text{H}$, 25turns, $k=0.9987$
C	4.2uF
C_o	330uF
R	2-50 Ω

그림 8은 마이크로 소스의 폴브리지 컨버터의 dc출력 전압 $v_{\text{bridge_dc}}$ 와 PEMFC의 무부하 전압 v_{fc} 를 나타내고 있다. $v_{fc}=40.6$ 은 $v_{\text{bridge_dc}}=288\text{v}$ 의 d.c전압으로 승압되고 있으며, 일정하게 유지하고 있음을 알 수 있다.

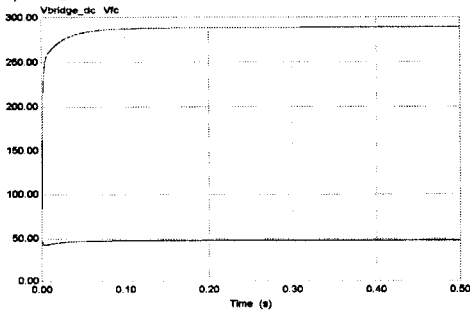
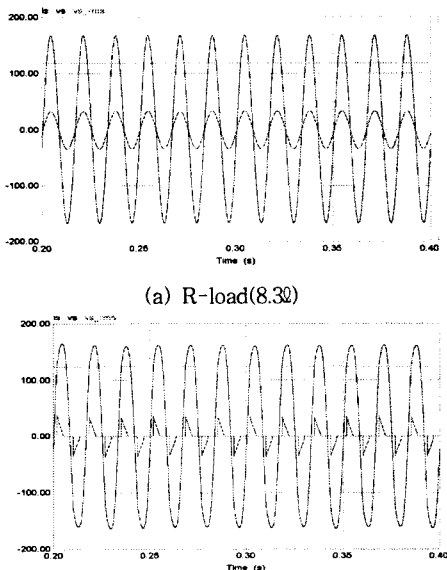


그림 8 $v_{\text{bridge_dc}}$ 와 v_{fc}

그림 9는 본 연구에서의 마이크로 소스 모델이 소형 분산 에너지원으로 동작하는지 살펴보기 위한 결과로서, R-부하와 다이오드 비선형 부하에 대한 특성을 살펴보았다.



(b) Nonlinear diode load ($L_1=2.5\text{mH}$, $C_1=1000\mu\text{F}$, $R_1=6\Omega$)

그림 9 정상상태에서의 v_s 와 i_s

우선 그림 9(a)는 R-부하(8.3 Ω)인 경우로서 $v_s=155\text{v}(\text{peak})(110\text{v}_{\text{rms}})$ 및 $i_s=20\text{A}$ 가 일정한 정현파 형태이다. 그림 9(b)는 $L_1=2.5\text{mH}$, $C_1=1000\mu\text{F}$, $R_1=6\Omega$ 인 다이오드 비선형 부하조건에 대한 v_s 와 i_s 를 나타낸 것이다.

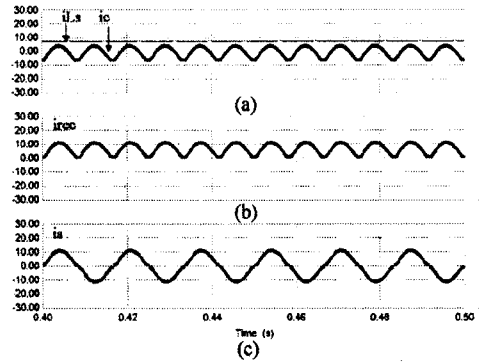


그림 10 입력역률 보상 결과 (i_{Ls} , i_c , i_{rec} , i_s)

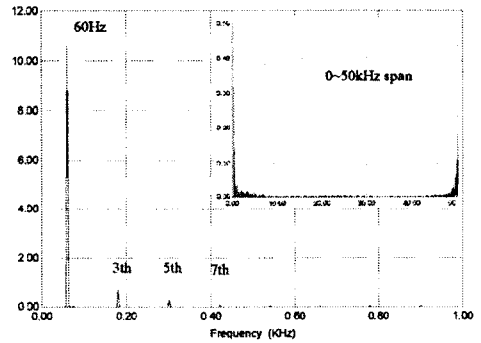


그림 11 ac전류 (i_s)의 FFT 분석

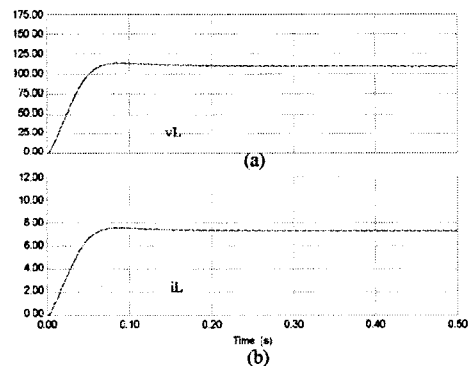


그림 12 dc측 전압과 전류파형 (v_L, i_L)

그림 10은 제안된 시스템의 다이오드 정류기 앞단의 ac전류 i_s 의 파형을 나타낸 것으로 i_s 는 스파이크가 없는 정현파이다. 그림 11은 i_s 의 FFT분석 결과인데, 약간의 3, 5고조파를 제외하면 거의 60Hz성분만이 존재함을 알 수 있다.

그림 12는 dc측 전압과 전류파형을 나타내고 있는 것으로 리플이 "0"에 가까움을 알 수 있다. C_o 가 330 μF 의 매우 낮은 값을 가짐에도 불구하고 dc측 리플은 "0"으로 할 수 있는데, 물론 C_o 가 클수록 이 효과는 매우 높다.

5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 소스와 연계한 H.R컨버터 시스템을 제시하였다. 마이크로 소스는 PEMFC, 폴브리 지 dc컨버터 그리고 PWM인버터와 출력 필터로 구성되어 있다. 소형 분산 에너지원으로서 마이크로 소스의 성능 평가는 R-부하와 비선형 부하에 대한 소스 전압의 강인성으로 평가하였다.

제안된 방법에 의하여 마이크로 소스의 ac출력전류(H.R컨버터의 입력전류)를 정현파로 개선하였으며, 또한 H.R컨버터의 dc측에 Z.R필터와 출력콘덴서를 삽입하여 ac출력전류의 스파이크와 dc측 리플을 제거하기 하였다. 제안된 시스템의 타당성을 PSIM시뮬레이션에 의하여 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [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] 엄준현, 정영국, 김광현, 임영철, "교류전압 보상기능을 갖는 단상 마이크로 소스 시스템" 연료전지 마이크로소스와 능동 전력필터 시스템, 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 추계학술대회논문집, 2006, pp.135-138
- [3] 엄준현, 정영국, 임영철, "연료전지 Z-소스 능동전력필터의 병렬운전 시스템", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 부문회 추계학술대회논문집, 2006, pp.372-375
- [4] O. Garcia, M.D. Martinez-Avial, J.A. Cobos, J. Uceda, J. Gonzalez, and J.A. Navas, "Harmonic reducer converter", in Conf. Rec. IEEE PESC'00, 2000, pp.583-587.
- [5] D.C. Hamill, and P.T. Krein, "A zero ripple technique applicable to any d.c converter", in Conf. Rec. IEEE PESC'99, 1999, pp.1165-1171.
- [6] 최우진, "양자 교환막형 연료전지의 등가임피던스 모델을 이용한 인버터에 의한 맥동전류의 영향에 관한 연구", 한국 조명전기설비학회 논문지 제18권 제6호, pp.230-237, 2004