

연료전지를 위한 독립형 3kW 인버터 시스템의 설계

민병호, 이영호, 박해영, 김인동, 노의철
부경대학교

Design of 3kW DC/DC Converter and Inverter for Stand alone PEM Fuel Cell

B.H. Min, Y.H. Lee, H.Y. Park, I.D. Kim, E.C. Nho
Pukyong National University

ABSTRACT

본 논문에서는 연료전지를 위한 독립형 3kW급 인버터 시스템을 제안한다. 논문에 사용된 연료전지는 26V에서 46V의 가변적인 출력을 가지므로 220V의 교류전압으로 변환하기 위해서 높은 변압비를 가지는 DC/DC 컨버터로써 400V의 DC링크 전압으로 승압되고 최종적으로 DC/AC 인버터를 통해서 220V의 교류전압으로 변환된다. 또한 DC/DC 컨버터의 직류출력전압을 저장하여 연료전지 초기구동과 제어기 전원에 공급함으로써 독립적인 시스템으로써 동작할 수 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 각 부분별 시뮬레이션을 통해서 검증하였다.

1. 서 론

연료전지는 내연기관에 비해 수소와 산소의 전기화학적 반응에 의해 전기, 열, 물을 발생한다. 전기만을 고려할 때도 효율이 40%로 타 대체 에너지에 비해 높으며 전기와 더불어 발생하는 열을 유용하게 사용할 경우 전체효율은 80%를 넘게 된다. 또한 연료전지는 효율이 높을 뿐만 아니라 CO₂의 배출을 크게 감소시키므로 지구온난화와 석유에너지 고갈문제에 대한 해결책으로 선진국에서는 많은 연구가 진행되고 있다.^[1] 이와 같은 연료전지는 출력전압특성이 그림 1과 같이 부하전류의 증가에 대해 출력전압의 변동이 크고 직류전압이므로 상용교류전원으로 변화시키기 위해서는 DC/DC 컨버터와 인버터로 구성된 전력변환장치를 필요로 한다.

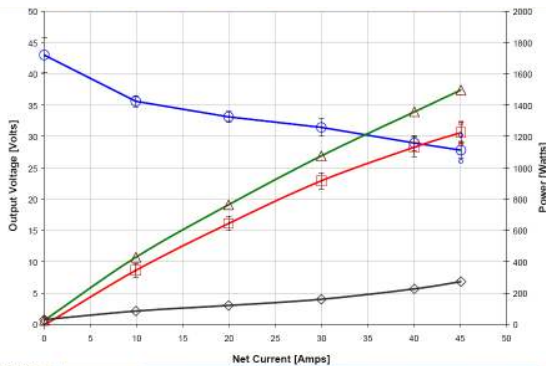


그림 1 PEMFC의 전류-전압, 출력전력 특성 곡선
Fig. 1 I-V, Power characteristic curve of PEMFC

지금까지의 연료전지용 DC/DC 컨버터는 입력단에 큰 인덕터를 갖는 Boost type DC/DC 컨버터를 많이 사용하였다.^{[2][3]} 이와 같은 DC/DC 컨버터는 연료전지에 작은 리플을 갖는 전류를 흐르게 하는 좋은 특성을 갖고 있으나 별도의 기동회로를 갖는 단점이 있다. 이와 같은 기동문제를 해결하기 위해 Buck type DC/DC 컨버터를 갖는 전력변환장치가 제안되었다. 그러나 Buck type 컨버터는 입력단 전류에 많은 리플성분을 지니므로 별도의 큰 필터를 필요로 한다.^[4] 따라서 본 논문에서는 기동문제를 해결하고 동시에 입력단 리플전류성분을 감소시키는 그림 2와 같은 연료전지용 전력변환장치를 제안한다. 제안된 DC/DC 컨버터는 병렬로 연결된 두 개 DC/DC 컨버터로 구성되어 있어 반송파를 90°의 위상차를 갖게 제어하여 고조파성분을 감소시킨다.

2. 제안한 전력변환 회로 및 제어회로

2.1 전체 시스템

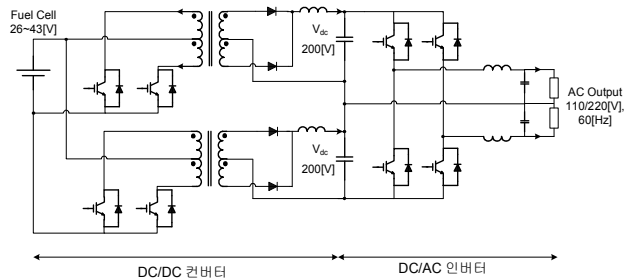


그림 2 제안한 연료전지 전력변환 시스템의 회로
Fig. 2 Schematic of proposed fuel-cell power conversion system

그림 2는 제안한 연료전지 전력변환 시스템을 나타낸 것이다. 제안한 전력변환 시스템에 적용된 연료전지 모델은 Ballard사의 1.2[KW]급 연료전지로 실제 3[KW] 시스템을 구성하기 위해서 연료전지 3대가 병렬로 연결되고, 연료전지의 낮은 출력전압을 승압하기 위한 Push-pull 컨버터가 병렬로 연결되어 있다. 각각의 Push-pull 컨버터의 출력전압 200[V]는 직렬로 연결되어 400[V]의 DC링크 전압을 구성하고, 최종적으로 단상 하프브리지 인버터에서 220[V]의 교류전원으로 변환된다.

2.2 DC/DC 컨버터

2.2.1 전력회로

DC/DC 컨버터의 전력회로는 Push-Pull 컨버터, 변압기, 다이오드 정류기, LC필터로 구성되어 있다. 변압기는 연료전지 출력전압 V_F 와 DC link 전압, V_{dc} 를 서로 매칭시킬 뿐만 아니라 연료전지부와 부하측을 전기적으로 서로 절연하기 위해 필요하다.

변압기의 권선비 N_2/N_1 는

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_{dc}}{V_{Fmin} \times d_{max}}$$

(1)

에 의해서 $N_1:N_2$ 는 1:10으로 정하였다.

Push-Pull 컨버터의 동작주파수는 가청소음과 변압기의 크기를 고려하여 40kHz로 하였으며 출력단 필터는 식 (2), (3)에 의해서 인덕터 600[uH], 커패시터 2200[uF]으로 정하였다.

$$L = \frac{V_O(1/2-D)T_s}{2 \times I_{o,min}} \quad (2)$$

$$C = \frac{T_s^2(1/2-D)}{8L} \times \frac{V_O}{\Delta v_O} \quad (3)$$

2.2.2 제어회로

제어회로는 그림 3과 같이 내부루프로는 전류제어 루프, 외부루프로는 전압제어루프로 구성되어 있다. 전류루프는 일정주파수 클럭으로 스위치를 도통시키고 인덕터 전류가 설정 값에 도달한 순간에 차단시킨다. 리미터 회로를 통해 연료전지의 최대출력을 제어할 수 있으며 과전류를 방지할 수 있다. 또한 제어 전류의 최대값을 제한함으로써 스위칭 소자의 최대전류를 직접 제어할 수 있다. 외부루프인 전압루프는 DC link 전압을 항상 일정하게 제어하여 인버터에 안전한 전원을 제공한다.

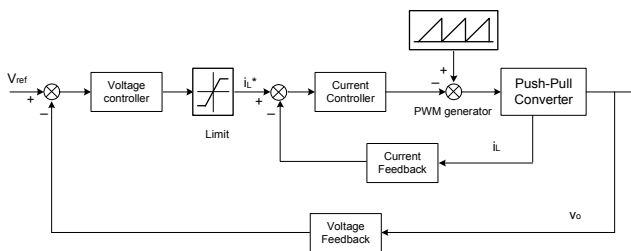


그림 3 DC/DC 컨버터 제어 블록 다이어그램

Fig. 3 Block diagram for DC/DC converter control

2.3 인버터 회로

2.3.1 전력회로

인버터회로는 2개의 하프브리지 단상 인버터로 각각 110[V] 전원을 출력하며, 또한 각 단상인버터의 위상이 서로 180°의 차이가 있으므로 220[V] 전원을 필요로 하는 부하에 전압을 공급할 수 있게 설계되어 있다.

2.3.2 제어회로

제어회로는 그림 4와 같다. 빠른 출력전압 응답특성을 위해 2개의 제어루프 즉, 전류제어루프와 전압제어루프로 구성되어 있다.

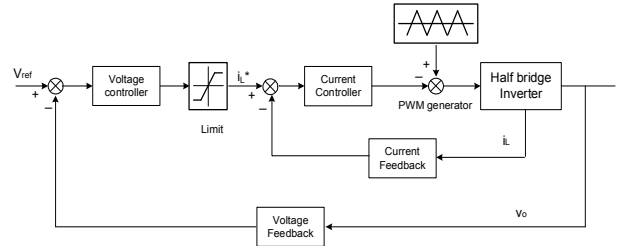
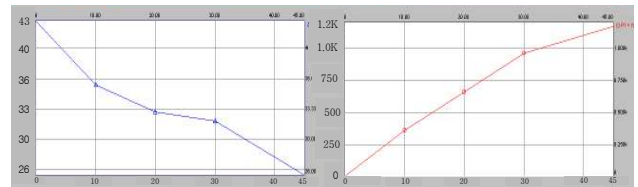


그림 4 DC/AC 인버터 제어 블록 다이어그램

Fig. 4 Block diagram for DC/AC Inverter control

3. 시뮬레이션 결과

그림 5와 표 1은 시뮬레이션시 적용한 연료전지 V-I 특성 곡선과 파라미터이다.



(a) V-I 특성 곡선

(b) 출력 전력

그림 5 시뮬레이션시 적용한 연료전지 특성 곡선

Fig. 5 Fuel-cell characteristic curve used for circuit simulation

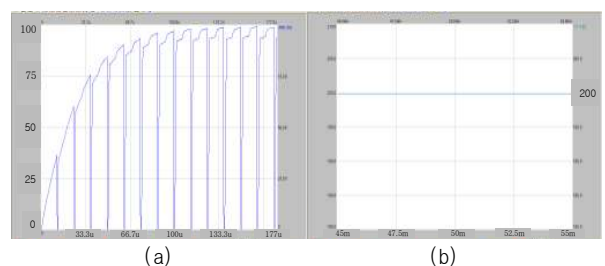
표 1 시뮬레이션 파라미터

Table 1 Parameters for Simulation

Power		3[KW]
Fuel cell Output Voltage		26~43[V]
Fuel cell Output Current		1~13.5[A]
Switching Frequency		40/20[KHz]
DC/DC Converter	L	600[uH]
	C	2200[uF]
	변압비($N_1:N_2$)	1:10
DC/AC Inverter	L	440[uH]
	C	4.7[uF]

3.1 DC/DC 컨버터

그림 6은 기동 시 연료전지 출력전류와 50ms에서 부하변동시(50%→100%) 출력전압, 인덕터 전류, 스위칭 파형이다.



(a)

(b)

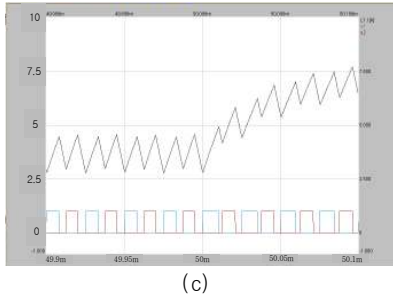


그림 6 (a)기동시 연료전지 출력전류. (b) 부하변동시 출력전압 (50%→100%). (c) 부하변동시 인덕터전류, 스위칭 파형.
 Fig. 6 (a)Output current waveform of fuel-cell while starting. (b)Output voltage waveform of DC/DC converter when the load changes from 50% load to full load. (c)Inductor current and switching waveform for the same load change.

그림 6(a)는 최초 기동시 과전류를 방지하고 제어기의 리미터 값에 따라 전류가 100[A] 이상 흐르지 않는 것을 알 수 있다.

그림 7은 연료전지 출력전류와 컨버터 입력전류 파형의 FFT 분석이다.

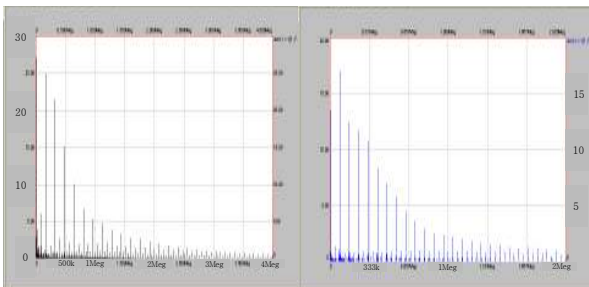


그림 7 (a)연료전지 출력전류 고조파 분석. (b)컨버터 입력전류 고조파 분석
 Fig. 7 (a)Harmonic spectrum for output current of fuel cell. (b)Harmonic spectrum for one input current of parallel-connected DC/DC converters.

병렬로 연결된 2개의 컨버터는 90°의 위상차를 갖게 스위칭을 함으로써 입력전류의 3고조파 성분을 감소시킨다.

3.2 DA/AC 인버터

그림 8은 5ms와 20ms일때 50%부하, 100% 부하를 연결한 출력전압, 전류 파형이다.

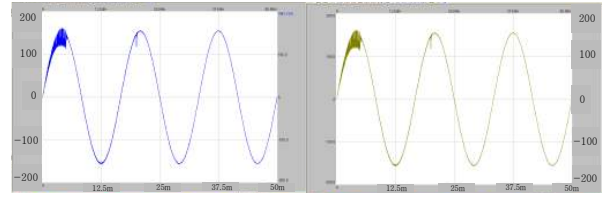
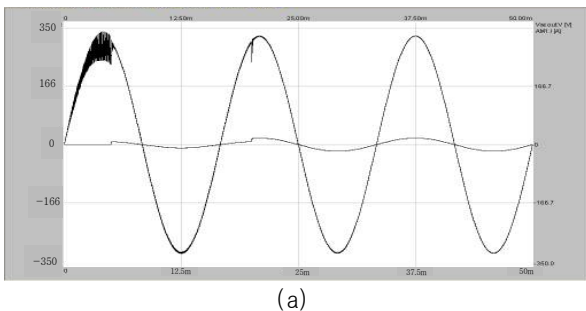


그림 8 (a) 인버터 출력전압, 전류파형 (b) 하프브리지 인버터 출력 전압 파형
 Fig. 8 (a)Inverter output voltage and current waveform. (b)Output voltage waveform of half-bridge inverter

4. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전 시스템인 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터를 설계하였다. 기동시 과전류를 방지하고 컨버터 입력전류의 고조파 성분 감소를 시뮬레이션 결과를 통하여 검증하였다. 또한 연료전지 전압-전류 특성을 모델링하여 시뮬레이션 적용하였으며 연료전지의 동작범위 내에서 제어할 수 있었다. 차후로는 실험을 통하여 설계에 대한 검증을 하고 계통 연계형 인버터를 설계하고자 한다.

참고 문헌

- [1] MICHAEL W .ELLIS, MICHAEL R. VON SPAKOVSKY, and DOUGLAS J. NELSON, "Fuel Cell Systems: Efficient, Flexible Energy Conversion for the 21st Century", Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 12, pp. 1808-1818, 2001, December.
- [2] Xudong Huang, Xiaoyan Wang, Troy Nergaard, Jih-Sheng(Jason) Lai, Xingyi Xu, and Lizhi Zhu, "Parasitic Ringing and Design Issues of Digitally Controlled High Power Interleaved Boost Converters", IEEE Trans. Power Electron, Vol. 19, No. 5, pp. 1341-1352, 2004, September.
- [3] Maja Harfman Todorovic, Leonardo, and Prasad N. enjeti, "Design of a Wide Input Range DC-DC Converter With a Robust Power Control Scheme Suitable for Fuel Cell Power Conversion", IEEE Trans. Power Electron, Vol, 55, No. 3, pp. 1247-1255, 2008, March.
- [4] Rajesh Gopinath, Sangsun Kim, Jae-Hong Hahn, Prasad N. Enjeti, Mark B. Yearly, Jo W. Howze, "Development of a Low Cost Fuel Cell Inverter System With DSP Control", IEEE Trans. Power Electron, Vlo. 19, No. 5, pp. 1256-1262, 2004, September