

7KW 연료전지용 DC/DC 컨버터 설계

김가인, 양세동, 손현수, 신민호, 이정효
 군산대학교

DC/DC Converter Design for 7KW Fuel Cell

Ga-In Kim, Se-dong Yang, Hyeon-su Son, Min-Ho Shin, Jung-Hyo Lee
 Gunsan National University

ABSTRACT

본 논문은 5톤급 지게차에 적용되는 7[kW]용량의 연료전지 스택을 리튬 폴리머 배터리로 충전하는 연료전지용 DC/DC 컨버터의 고효율 설계기법과 연료전지의 화학반응에 의한 전류 응답속도와 수소농도에 따른 제어방법에 대하여 설명하고 제안하는 토폴로지의 설계와 제어기법의 타당성 검증을 위하여 5톤급 지게차에 장착 시범 운전하여 연료전지와 리튬폴리머 배터리의 특성에 맞는 연료전지 컨버터의 타당성을 검증한다. 또한 수소 연료전지의 전압특성과 최대전력을 사용할 수 있는 제어방법과 지게차 연료전지 시스템의 구성과 동작 방법에 대하여 설명한다.

1. INTRODUCTION

신재생 에너지원으로 이동이 가능한 에너지는 배터리와 연료전지를 주로 이용하고 있다. 배터리를 이용한 시스템은 배터리를 충전하기 위해서 화석연료를 사용하여 발생된 전기를 이용하여 친환경적 효율이 매우 낮다. 연료전지는 수소를 공급하면 공기 중의 산소와 결합하여 전기 에너지를 발생시키고 배터리의 에너지 손실보다 월등히 높아 친환경 에너지원으로 많은 연구가 진행되고 있다. 연료전지는 높은 가격과 압축수소의 위험성과 보관, 수소충전 문제점을 갖고 있지만 기술적으로 해결 가능한 문제점으로 문제점만 해결되면 이동형 시스템에 적용 가능한 가장 친환경적이고, 높은 효율을 갖는 에너지원으로 사용가능하여 연료전지 특성을 고려한 고효율 DC/DC 컨버터의 연구가 요구된다. 본 논문에서는 고가의 연료전지 스택의 용량을 최소화하기 위하여 연료전지용 DC/DC컨버터는 고효율화가 요구된다. 컨버터의 효율을 올리기 위한 방법으로 비 절연 승압 컨버터인 부스트 컨버터 중 다이오드 대신 MOSFET스위칭 소자를 사용하는 동기식 부스트컨버터의 토폴로지를 적용하여 토폴로지의 스위칭 방식 분석과 제어기법에 따라서 효율은 크게 변동되어 효율을 증대할 수 있는 스위칭 제어 방법에 대하여 설명하고, 연료전지 스택보호를 위한 방법으로 저전압에서 연료전지 압력상승으로 발생하는 연료전지 스택에 공급되는 수소의 농도와 온도에 따라서 생성되는 전력량을 계산하고 화학 반응속도에 맞게 연료전지 컨버터의 초기 전류 상승시간을 고려하고 전류에 따른 연료전지 전압상태를 예측하여 전류량을 조절하는 DC/DC컨버터의 전류 제어기법에 대하여 설명한다.

2.1 Forklift Fuel cell System

그림 1은 지게차에 사용되는 연료전지 시스템의 구성도를 나타낸다. 연료전지에서 발전된 전력은 동기식 부스트 컨버터를 통하여 리튬폴리머 배터리에 전달되어 인버터에 전력을 공급해주는 직렬형 연료전지, 배터리 하이브리드 시스템으로 구성되어 있다. 연료전지 용량은 7[kW]이고 순간적으로 인버터에서 요구하는 전력이 900[Apk]여서 리튬 폴리머 배터리의 용량은 48[V], 300[Ah]의 용량으로 선정하였다. TCU는 통합제어기로 연료전지에 공급되는 수소량과 온도 조절하는 칠러, DC/DC 컨버터의 On/Off제어, 리튬 폴리머 배터리의 셀 전압과 온도, 방전 전류량을 제어한다.

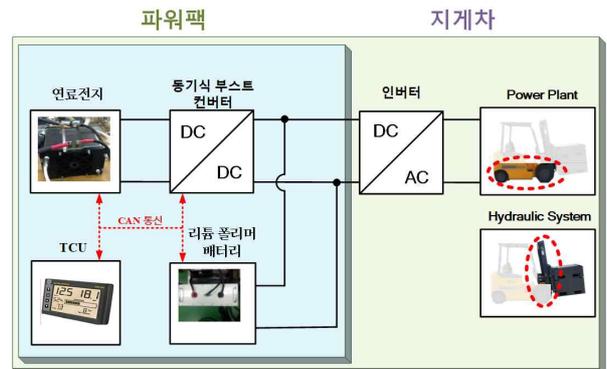


그림 1 지게차 연료전지 시스템 구성
 Fig. 1 Forklift Fuel cell System Configuration

2.2 Fuel cell System

그림 2는 연료전지 전압 특성곡선을 나타낸다. 수소를 공급해주는 PEM방식의 연료전지는 800[°C] 온도에서 이상적인 전압인 셀당 1.2[V]를 갖게 된다. 지게차등 이동 수단에서의 동작 온도는 빠른 시동이 요구되어 40~100[°C]의 범위에서 동작하게 되는데 이 동작온도 때 전압은 셀 당 1[V]이다. 이때 전압은 OCV로 전류가 1[A]라도 방전하게 되면 활성화 손실에 의해서 전압이 급격하게 강하하게 된다. 온도에 따라서 다르지만 일반적으로 0.2[V]의 전압강하를 갖게 되고 그 후에는 방전되는 전류 용량에 따라서 내부 저항값 만큼 감소하게 된다. 이때 수소의 농도와 연료전지의 스택의 온도에 따라서 전압강하는 증가될 수 있어 연료전지 컨버터 설계 시 고려해야 될 사항이다.

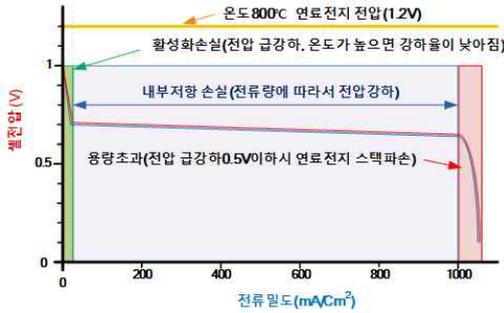


그림 2 연료전지 전압 특성 곡선
Fig. 2 Fuel cell Voltage Characteristic curve

2.3 DC/DC Converter Design and Control for Fuel cell

그림3은 논문에서 제안하는 비절연 DC/DC 컨버터인 동기식 부스트 컨버터의 회로도를 나타낸다. 동기식 부스트 컨버터는 기존의 부스트 컨버터에서 정류부를 다이오드 대신 스위칭 소자를 사용하여 다이오드의 역 회복시간인 T_{rr} 에 의한 Q_{rr} , I_{rr} 손실을 줄일 수 있어 컨버터 효율을 2[%]정도 향상시킬 수 있다. 일반적으로 DC/DC컨버터를 충전기를 사용할 때는 배터리의 정전류 충전을 위해서 출력 정전류(CC) 제어 후 정전압(CV)제어를 수행하나, 연료전지는 화학반응과 수소량에 따라서 출력되는 전력이 일정하여 배터리는 방전용량이 자기용량보다 일시적으로 20배(20C-rate)까지 사용이 가능하나 연료전지는 발전된 용량만 방전가능하고 발전된 용량보다 큰 용량을 방전할 시 과손이 발생되어 배터리보다 민감하고 과손이 쉬워 연료전지용 DC/DC컨버터는 연료전지 출력인 컨버터의 입력 정전류 제어를 수행하여 동작한다.

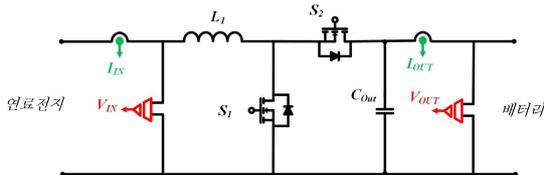


그림 3 연료전지 DC/DC 컨버터 회로도
Fig. 3 Fuel cell DC/DC Converter Circuit diagram

3. EXPERIMENT RESULT

그림4는 DC/DC 컨버터는 실험세트 사진을 나타낸다. 효율 증대를 위해서 스위칭소자는 R_{DS} 이 낮은 MOSFET를 사용하였다. 소자는 APT20HM04의 200[V], 380[A], 도통저항 6[mΩ]의 스위칭 소자를 사용하였다. 부스트 리액터는 주파수를 고려하면 페라이트 코어를 사용해야 되나, 전류용량 200[A]용량의 리액터를 페라이트 코어로 200[uH]용량으로 제작하기에 권선수와 코어크기 등을 고려할 때 부피가 너무 커서 철심코어에 권선하여 크기와 부피를 줄였다. 철심코어를 사용하게 되면 온도는 많이 상승되나 리액터의 기본Q값이 크고 권선이 외부로 감겨 냉각효과가 뛰어나 포화점인 150[°C]에 도달하지 않게 냉각을 설계하여 부피를 줄일 수 있는 철심코어의 리액터를 적용하였다. 부스트 컨버터의 출력 커패시터는 큰 전류 리플을 감당하기 위해서 필름 커패시터 중에 전류용량이 150[A]의 필름 커패시터를 병렬로 연결하여 사용하여 내구성과 신뢰성을 증대시켰다.

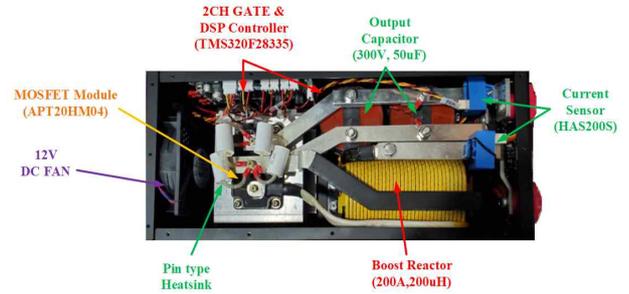


그림 4 DC/DC 컨버터 실험세트 사진
Fig. 4 DC/DC Converter Experiment set Picture

그림5는 DC/DC컨버터의 입력과 출력의 전압, 전류 파형을 나타낸다. 연료전지 출력전압인 컨버터의 입력전압은 35[V]이고 입력전류는 182[A] 출력은 50[V], 122[A]로 6,3[kW]에서 최대효율은 95.7[%]를 나타낸다. 연료전지 컨버터에서 가장 중요시되는 입력전류 리플은 0.8[Apkpk], 1[%]이내의 전류리플을 갖는 것을 실험을 통하여 검증하였다.

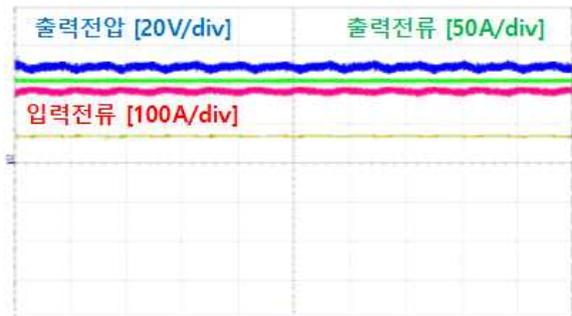


그림 5 DC/DC 컨버터 입출력 전압, 전류 파형
Fig. 5 DC/DC Converter Input/Output Sensing Voltage, Current Waveform

4. CONCLUSION

본 논문은 연료전지의 전력을 리튬 폴리머 배터리에 충전하는 DC/DC컨버터의 고효율 제작기법과 연료전지 특성에 대하여 분석하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 컨버터의 효율은 다이오드를 사용하는 부스트 컨버터보다 2.5[%]이상 향상시켜 고가의 연료전지 용량을 줄일 수 있는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported the Human Resources Development Program (Grant No. 20174010201350) by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grants. The Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education (NRF-2016R1A6A1A03013567).

참고 문헌

- [1] Wu Junjuan, Wen Pinghui, Sun Xiaofeng, Yan Xiangwei. "Reactive Power Optimization Control for Bidirectional Dual-Tank Resonant DC-DC Converters for Fuel Cells Systems" IEEE transactions on power electronics : 9202-9214.