

150W급 휴대용 연료전지 Power Pack 설계

우동균, 김윤성, 주동명, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Design of 150W Portable Fuel Cell Power Pack System

Dong Gyun Woo, Yun Sung Kim, Dong Myoung Joo, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 150W급 휴대용 연료전지 Power pack의 사양을 고려한 최적 설계과정을 제시하고, 제작된 시작품을 이용하여 제안된 모드전환 제어 알고리즘을 검증한다. 연료전지, 배터리 및 부하의 상태를 가정하여, 다양한 시나리오에 따른 운전 모드 변경 시, 출력전압 제어 성능을 확인한다. 또한, 전부하 영역에서 시스템 효율을 측정하여 효율 성능을 확인한다.

1. 서론

연료전지는 대표적인 무공해 에너지원으로서, 기존 에너지원에 비해 높은 에너지 변환 효율을 보여준다. 최근에는 수소 저장 기술의 발달에 힘입어, 중·대용량의 시스템뿐만 아니라 저용량의 휴대용 연료전지 시스템 또한 활발히 연구 개발되고 있다. 하지만 연료전지는 아래와 같은 단점을 지닌다.

- 부하 변화에 대한 느린 동특성 응답
- 긴 Warm up 시간

이러한 단점들을 보상하기 위해, 배터리 또는 울트라 커패시터와 같은 에너지 저장 장치가 연료전지 시스템에 적용될 수 있다. 특히, [1]과 [2]는 휴대용 연료전지 파워팩에 적용 가능한 저용량 연료전지 배터리 하이브리드 시스템에 대해 소개하고 있다. [1]은 연료전지 스택과 능동필터가 DC link단에 병렬로 연결되는 아주 간단한 하이브리드 구조를 소개한다. 하지만 이러한 구조에서는 배터리 State Of Charge (SOC)를 제어할 수 없고, DC link단의 동특성이 연료전지의 영향을 직접적으로 받게 된다. [2]는 동기식 백컨버터와 배터리가 직렬로 연결된 하이브리드 구조를 사용한다. 이때, 출력전압이 배터리전압에 종속되므로 정전압 제어가 어렵고, 고용량의 배터리가 요구되므로 전체 시스템 비용이 증가하게 된다.

본 논문에서는, 150W급 휴대용 연료전지 파워팩 사양에 적합한 연료전지 배터리 하이브리드 시스템 구조를 선정하고, 소형, 저가 및 경량화를 달성하기 위한 최적의 DC DC 컨버터 토폴로지를 적용한다. 또한 연료전지, 배터리 및 부하 상태를 고려하여 파워팩의 운전모드를 구분하고, 각 모드별로 정전압, 정전류, 또는 전력 제어를 통해 부하를 만족시켜주면서 배터리 SOC와 연료전지 스택의 상태도 안정적으로 유지할 수 있는 제어 알고리즘을 고안한다. 마지막으로, 제작된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩 시작품 세트를 활용하여, 제안된 알고리즘 및 시스템 성능을 검증한다.

표 1 휴대용 연료전지 파워팩 사양

Table 1 Specifications of the portable fuel cell power pack

Rated Output Power	150 [W]
Output Voltage	12 (+/- 5%) [V]
Operating Temperature	0~60 [°C]
Cooling	Forced air cooling

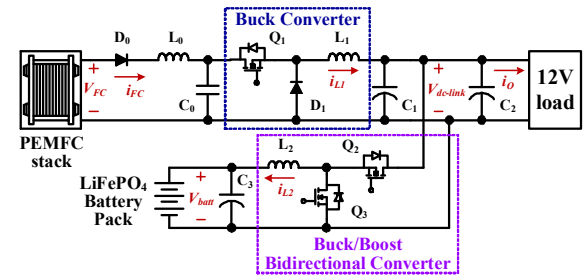


그림 1 개발된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 구성
Fig. 1 System configuration of the developed 150W portable fuel cell power pack

2. 시스템 설계

표 1은 휴대용 연료전지 파워팩의 사양을 보여준다. 이러한 사양을 만족시켜주기 위해, 다양한 연료전지 배터리 하이브리드 시스템 구조들 중에서 그림 1의 구조를 선택하였다. 배터리와 DC link단이 직접 연결된 구조보다 상대적으로 동특성이 느리기는 하지만, 전력 분배 제어를 통해 전체 시스템의 동특성을 향상시킬 수 있고, 각 컨버터를 적절히 제어하여 출력단의 DC link 전압을 12V로 안정화시킬 수 있다. 또한 배터리 SOC 관리를 통해 배터리 수명을 연장시킬 수 있다. 시스템 주요부의 설계 과정은 아래와 같다.

연료전지는 종류에 따라 전해질, 연료, 동작온도, 출력밀도 등에 있어서 차이점을 가진다. 다양한 연료전지들 중, Polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC)는 상대적으로 낮은 온도 (25~80°C)에서 동작할 수 있고, 높은 전류 밀도를 유지할 수 있다. 즉, 기동 시간이 짧고 시스템 경량화 및 소형화에 적

표 2 PEMFC 스택 사양

Table 2 Specifications of the PEMFC stack

Rated Power	200 [W]
Output Voltage	26~46 [V]
Reactants	Hydrogen & Air
Humidification	Self humidified
Dimension	215mm × 112mm × 95mm

표 3 리튬인산철 배터리팩 사양

Table 3 Specifications of the LiFePO₄ battery pack

Number of Cells	3
Single Cell Voltage	3.3 [V]
Rated Voltage	9.9 [V]
Capacity	26[Ah]
Dimension	21.75mm × 160mm × 227mm

합하다. 또한 일반적으로 다른 연료전지들에 비해 가격이 낮고 40% 이상의 효율을 보여주므로 표 2의 사양을 갖는 PEMFC 스택을 선정하였다.

배터리팩은 리튬이온, 리튬폴리머, 리튬인산철 배터리 중, 느린 자가방전율, 낮은 가격, 뛰어난 수명 및 온도 특성의 장점을 가지고 있는 리튬인산철 배터리를 이용하여 구성하였다. 특히, 리튬인산철 배터리는 한 셀당 전압 범위가 2.8~3.8V이므로, 세계의 셀을 직렬로 연결하였을 때, 배터리팩의 최대전압 크기는 11.4V가 된다. 이는 시스템 출력전압인 12V보다 작은 값이므로 양방향 컨버터 토폴로지 선정을 보다 간단하게 만든다. 최종 배터리팩의 사양은 표 3과 같다.

단방향 컨버터와 양방향 컨버터의 경우, 전체 시스템의 가격 및 부피 등을 줄이고 제어를 단순하게 만들기 위해서, 적은 수의 능동 및 수동 소자로 구성이 가능한 토폴로지를 선정하였다. 두 컨버터의 스위칭 주파수는 스위치 손실, 수동소자의 크기, 리플 크기 등을 고려하여 150kHz로 설정하였다. 벽컨버터의 경우, 스위칭 시 입력전류가 불연속이 되므로, 이를 해결하기 위해 연료전지 스택과 벽컨버터 사이에 L₀와 C₀를 이용하여 LC필터를 구성하였다. 또한 시스템의 과도상태 동안 연료전지 스택으로 전류가 흘러들어가지 않도록 입력단에 역류 방지용 다이오드 (D₀)를 구성함으로써, 연료전지 스택의 안정적인 출력을 도모하였다.

3. 제어 알고리즘

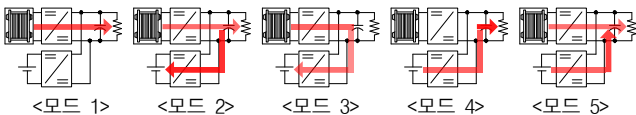


그림 2 연료전지 파워팩의 운전모드

Fig. 2 Operating modes of the fuel cell power pack

그림 2는 연료전지, 배터리 및 부하 상태를 고려하여 그림 1의 파워팩 시스템에서 발생 가능한 운전모드들을 보여준다. 모드별 운전 조건은 아래와 같다.

- 모드 1 : 시스템 기동 시 // 정상 운전 시
- 모드 2 : FC 정상 상태 & 배터리 SOC low limit 이하
- 모드 3 : FC 정상 상태 & 무부하 & 배터리 SOC (high limit+low limit)/2 이하
- 모드 4 : 시스템 기동 시 // FC 에러 상태
- 모드 5 : 시스템 기동 시 // (FC 이상 상태 & 배터리 SOC low limit 이상)

4. 시스템 제작 및 실험 결과

개발된 연료전지 파워팩은 DC DC 컨버터부 제어를 위해 TI사의 TMS320F28035를 사용하였다. 그림 3은 개발된 연료전지 파워팩 시작품의 실험 세트를 보여준다.

그림 4(a)~(c)는 연료전지 파워팩 운전 중 발생 가능한 몇 가지 상황에서의 모드 변경 실험파형들이다. 모드 전환 시, 출

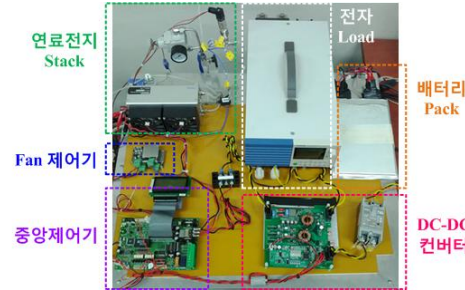


그림 3 개발된 150W 휴대용 연료전지 파워팩 실험 세트

Fig. 3 Developed prototype of 150W portable fuel cell power pack

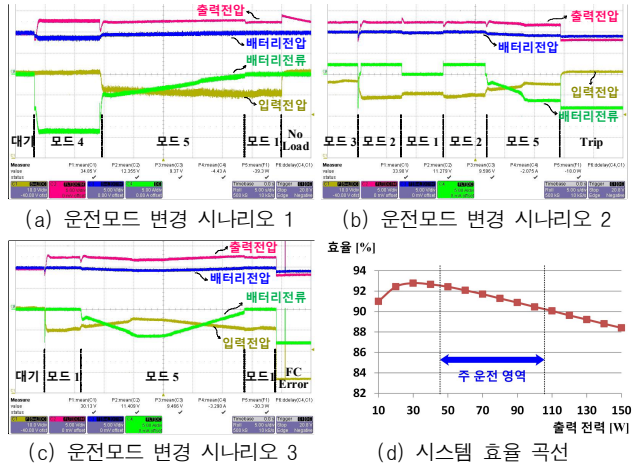


그림 4 실험결과

Fig. 4 Experimental results

력전압이 12[V]로 잘 제어되고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4(d)는 전부하 영역에서의 시스템 효율을 나타낸 것이며, 최대 92.8[%]의 효율 성능을 확인하였다.

5. 결론

본 논문은 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. 시스템 사양에 적합한 연료전지 배터리 하이브리드 구조를 선정한 뒤, 소형화 및 경량화를 고려하여 시스템 주요부를 설계하였다. 또한 연료전지, 배터리, 부하의 상태에 따른 다양한 운전모드 변경 과정을 모의하여 출력전압 제어 성능을 검증하였고, 92.8[%]의 최대 효율을 획득하였다. 향후 동기 정류 방식 적용 및 인덕터 최적 설계 등을 통해, 효율 성능 개선을 위한 연구를 진행할 계획이다.

본 연구는 지식경제부 지원 하에 수행된 신재생에너지융합 원천기술개발사업 (No. 20113010030020)의 연구결과입니다.

참고 문헌

[1] D. Franzoni, E. Santi, A. Monti, F. Ponci, D. Patterson, and N. Barry, "An active filter for fuel cell applications," in Proc. 36th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf., Jun. 2005, pp. 1607-1613.

[2] Z. Jiang and R. A. Dougal, "A compact digitally controlled fuel cell/battery hybrid power source," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 4, pp. 1094-1104, Jun. 2006.